

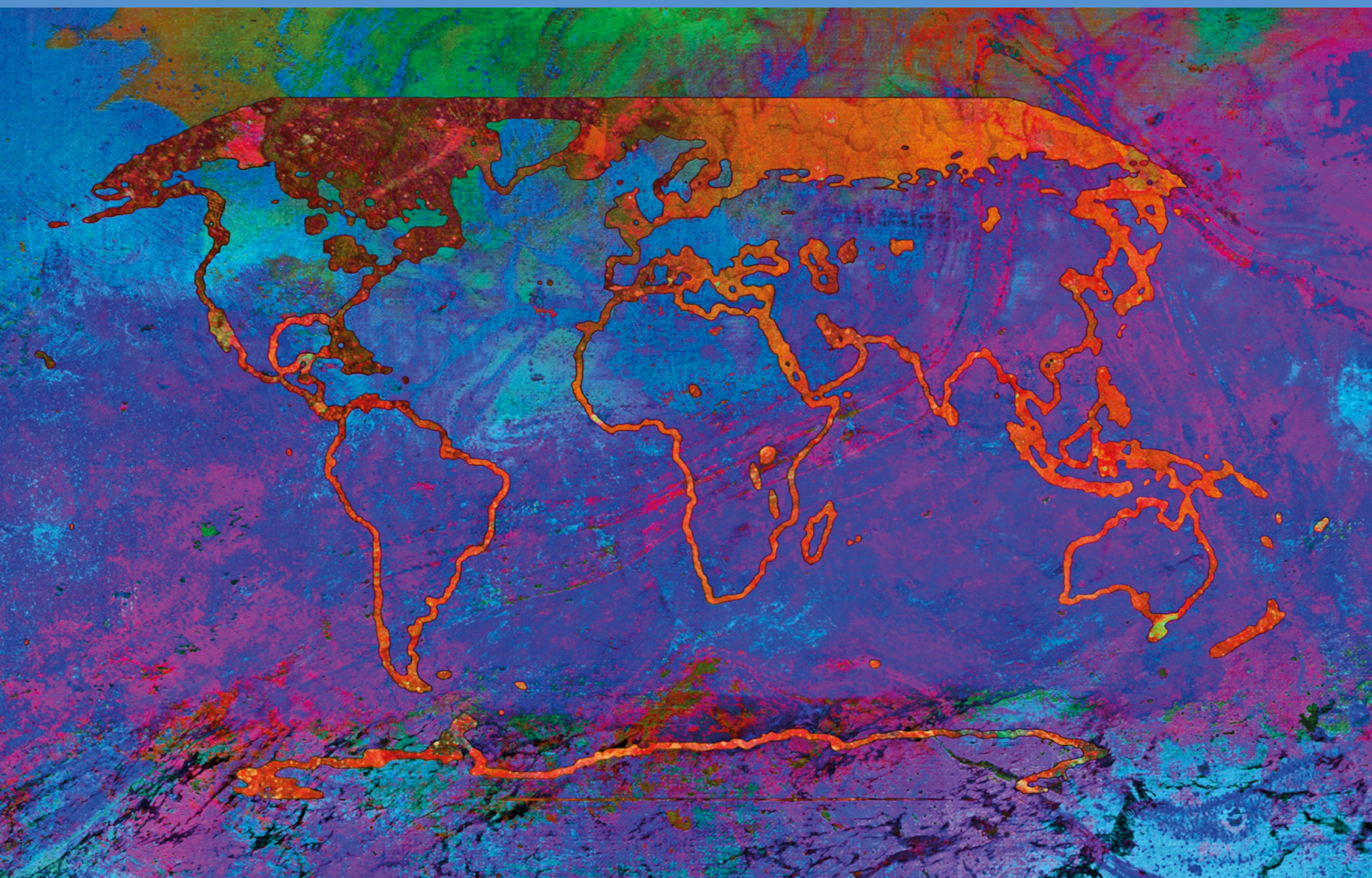
ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

Zmiana Klimatu 2021

Podstawy fizyczne

Podsumowanie dla Decydentów



WGI

Wkład I Grupy Roboczej
do Szóstego Raportu Oceny
Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu



Podsumowanie dla Decydentów

Autorzy:

Richard P. Allan (Wielka Brytania), Paola A. Arias (Kolumbia), Sophie Berger (Francja/Belgia), Josep G. Canadell (Australia), Christophe Cassou (Francja), Deliang Chen (Szwecja), Annalisa Cherchi (Włochy), Sarah L. Connors (Francja/Wielka Brytania), Erika Coppola (Włochy), Faye Abigail Cruz (Filipiny), Aïda Diongue-Niang (Senegal), Francisco J. Doblas-Reyes (Hiszpania), Hervé Douville (Francja), Fatima Driouech (Maroko), Tamsin L. Edwards (Wielka Brytania), François Engelbrecht (Republika Południowej Afryki), Veronika Eyring (Niemcy), Erich Fischer (Szwajcaria), Gregory M. Flato (Kanada), Piers Forster (Wielka Brytania), Baylor Fox-Kemper (Stany Zjednoczone), Jan S. Fuglestad (Norwegia), John C. Fyfe (Kanada), Nathan P. Gillett (Kanada), Melissa I. Gomis (Francja/Szwajcaria), Sergey K. Gulev (Federacja Rosyjska), José Manuel Gutiérrez (Hiszpania), Rafiq Hamdi (Belgia), Jordan Harold (Wielka Brytania), Mathias Hauser (Szwajcaria), Ed Hawkins (Wielka Brytania), Helene T. Hewitt (Wielka Brytania), Tom Gabriel Johansen (Norwegia), Christopher Jones (Wielka Brytania), Richard G. Jones (Wielka Brytania), Darrell S. Kaufman (Stany Zjednoczone), Zbigniew Klimont (Austria/Polska), Robert E. Kopp (Stany Zjednoczone), Charles Koven (Stany Zjednoczone), Gerhard Krinner (Francja/Niemcy, Francja), June-Yi Lee (Republika Korei), Irene Lorenzoni (Wielka Brytania/Włochy), Jochem Marotzke (Niemcy), Valérie Masson-Delmotte (Francja), Thomas K. Maycock (Stany Zjednoczone), Malte Meinshausen (Australia/Niemcy), Pedro M.S. Monteiro (Republika Południowej Afryki), Angela Morelli (Norwegia/Włochy), Vaishali Naik (Stany Zjednoczone), Dirk Notz (Niemcy), Friederike Otto (Wielka Brytania/Niemcy), Matthew D. Palmer (Wielka Brytania), Izidine Pinto (Republika Południowej Afryki/Mozambik), Anna Pirani (Włochy), Gian-Kasper Plattner (Szwajcaria), Krishnan Raghavan (Indie), Roshanka Ranasinghe (Holandia/Sri Lanka, Australia), Joeri Rogelj (Wielka Brytania/Belgia), Maisa Rojas (Chile), Alex C. Ruane (Stany Zjednoczone), Jean-Baptiste Sallée (Francja), Bjørn H. Samset (Norwegia), Sonia I. Seneviratne (Szwajcaria), Jana Sillmann (Norwegia/Niemcy), Anna A. Sörensson (Argentyna), Tannecia S. Stephenson (Jamaika), Trude Storelvmo (Norwegia), Sophie Szopa (Francja), Peter W. Thorne (Irlandia/Wielka Brytania), Blair Trewin (Australia), Robert Vautard (Francja), Carolina Vera (Argentyna), Nouredine Yassaa (Algieria), Sönke Zaehle (Niemcy), Panmao Zhai (Chiny), Xuebin Zhang (Kanada), Kirsten Zickfeld (Kanada/Niemcy)

Autorzy pomocniczy:

Krishna M. AchutaRao (Indie), Bhupesh Adhikary (Nepal), Edwin Aldrian (Indonezja), Kyle Armour (Stany Zjednoczone), Govindasamy Bala (Indie/Stany Zjednoczone), Rondrotiana Barimalala (Republika Południowej Afryki/Madagaskar), Nicolas Bellouin (Wielka Brytania/Francja), William Collins (Wielka Brytania), William D. Collins (Stany Zjednoczone), Susanna Corti (Włochy), Peter M. Cox (Wielka Brytania), Frank J. Dentener (UE/Holandia), Claudine Dereczynski (Brazylia), Alejandro Di Luca (Australia, Kanada/Argentyna), Alessandro Dosio (Włochy), Leah Goldfarb (Francja/Stany Zjednoczone), Irina V. Gorodetskaya (Portugalia/Belgia, Federacja Rosyjska), Pandora Hope (Australia), Mark Howden (Australia), Akm Saiful Islam (Bangladesz), Yu Kosaka (Japonia), James Kossin (Stany Zjednoczone), Svitlana Krakovska (Ukraina), Chao Li (Chiny), Jian Li (Chiny), Thorsten Mauritsen (Niemcy/Dania), Sebastian Milinski (Niemcy), Seung-Ki Min (Republika Korei), Thanh Ngo Duc (Wietnam), Andy Reisinger (Nowa Zelandia), Lucas Ruiz (Argentyna), Shubha Sathyendranath (Wielka Brytania/Kanada, zamorski obywatel Indii), Aimée B. A. Slangen (Holandia), Chris Smith (Wielka Brytania), Izuru Takayabu (Japonia), Muhammad Irfan Tariq (Pakistan), Anne-Marie Treguier (Francja), Bart van den Hurk (Holandia), Karina von Schuckmann (Francja/Niemcy), Cunde Xiao (Chiny)

Data dokumentu: 7 sierpnia 2021 17.00 CEST

Niniejsze Podsumowanie dla Decydentów należy cytować jako:

IPCC, 2021: Podsumowanie dla Decydentów. W: *Zmiana Klimatu 2021: Fizyczne Podstawy Naukowe. Wkład I Grupy Roboczej do Szóstego Raportu Oceny Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu*. [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (red.)]. Cambridge University Press. W druku.

Tłumaczenie na język polski zespół w składzie:

prof. dr hab. Szymon Malinowski, *Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, przewodniczący Zespołu ds. Kryzysu klimatycznego przy Prezesie PAN, naukaoklimacie.pl*

dr Aleksandra Kardaś, *Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, naukaoklimacie.pl*

mgr Marcin Popkiewicz, *naukaoklimacie.pl*

dr hab. Jacek Pniewski, *Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, naukaoklimacie.pl*

mgr Anna Sierpińska, *naukaoklimacie.pl*

Sprawdzili tłumaczenie:

prof. dr hab. Mirosław Miętus, *Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, Stały Przedstawiciel Polski w Światowej Organizacji Meteorologicznej*

prof. dr hab. Jacek Piskozub, *Instytut Oceanologii PAN, zastępca przewodniczącego Zespołu ds. Kryzysu klimatycznego przy Prezesie PAN*

prof. dr hab. Jan Kozłowski, *Instytut Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego, członek Zespołu ds. Kryzysu klimatycznego przy Prezesie PAN*

dr Janusz Filipiak, *Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB*

dr Michał Marosz, *Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB*

Skład:

Anna Popkiewicz

Warszawa 04.11.2021

Spis treści

Wprowadzenie	4
A. Obecny stan klimatu	5
B. Przyszłość klimatu – możliwe scenariusze	15
C. Informacje o klimacie na potrzeby oceny ryzyka i adaptacji regionalnej	31
D. Ograniczanie przyszłej zmiany klimatu	36

Wprowadzenie

Niniejsze Podsumowanie dla Decydentów (SPM) przedstawia główne ustalenia I Grupy Roboczej (WGI) dotyczące fizycznych podstaw zmiany klimatu, będące wkładem do Szóstego Raportu Oceny (AR6)¹ [dalej oznaczane jako ‘IPCC AR6 WGI’ – przyp. tłum.]. Raport uwzględnia wkład I Grupy Roboczej do Piątego Raportu IPCC (AR5) z 2013 r. oraz Specjalnych Raportów IPCC z lat 2018–2019² z cyklu AR6, oraz opublikowane później dowody naukowe z zakresu nauki o klimacie³.

Niniejsze streszczenie (SPM) zawiera zwięzłe podsumowanie zrozumienia obecnego stanu klimatu, w tym jego bieżących zmian, znaczenia wpływu człowieka, stanu wiedzy na temat możliwych wariantów przyszłości klimatu, informacji o klimacie istotnych dla poszczególnych regionów i sektorów oraz dla ograniczania antropogenicznej zmiany klimatu.

Bazując na zrozumieniu naukowym, główne wnioski sformułowano jako stwierdzenia faktów lub przypisano im ocenę stopnia pewności zgodnie z definicjami określonymi przez IPCC⁴.

Podstawy naukowe każdego kluczowego wniosku opisano w podrozdziałach raportu oraz w kompleksowej syntezie umieszczonej w Podsumowaniu Technicznym (dalej TS), [ich numery] wskazano w nawiasach klamrowych {}. Interaktywny atlas AR6 WGI ułatwia przegląd kluczowych wniosków i dodatkowych informacji na temat zmiany klimatu w poszczególnych regionach zdefiniowanych przez WGI⁵.

¹ Decyzja IPCC/XLVI-2.

² Trzy Raporty Specjalne to: Globalne Ocieplenie o 1,5°C: Specjalny Raport IPCC o następstwach globalnego ocieplenia klimatu o 1,5°C względem epoki przedprzemysłowej oraz związanych z nim scenariuszy globalnych emisji gazów cieplarnianych w kontekście wzmocnienia światowej odpowiedzi na zagrożenie zmianą klimatu, wspierania zrównoważonego rozwoju oraz działań na rzecz wyeliminowania ubóstwa (SR1.5); Zmiana klimatu i systemy lądowe: Specjalny Raport IPCC o zmianie klimatu, pustynnieniu, degradacji gleb, zrównoważonym gospodarowaniu gruntami, bezpieczeństwie żywnościowym i przepływach gazów cieplarnianych w ekosystemach lądowych (SRCCL); Specjalny Raport IPCC o oceanach i kriosferze w zmieniającym się klimacie (SROCC).

³ Obecny raport obejmuje przegląd literatury naukowej przyjętej do publikacji do dnia 31 stycznia 2021 r.

⁴ Podstawą każdego stwierdzenia jest ocena dowodów i ich spójności. Stopień pewności wyrażany jest za pomocą pięciu kwalifikatorów (bardzo niski, niski, średni, wysoki i bardzo wysoki), zapisanych kursywą, np. *średni poziom pewności*. Prawdopodobieństwo [wystąpienia określonego] skutku bądź rezultatu określane jest przy użyciu następujących sformułowań: *praktycznie pewny* odpowiada prawdopodobieństwu w zakresie 99–100%, *bardzo prawdopodobny* 90–100%, *prawdopodobny* 66–100%, *średnio prawdopodobny* 33–66%, *mało prawdopodobny* 0–33%, *bardzo mało prawdopodobny* 0–10%, *wyjątkowo nieprawdopodobny* 0–1%. W razie potrzeby stosuje się też dodatkowe sformułowania (*skrajnie prawdopodobny*: 95–100%, *raczej prawdopodobny*: >50–100%, *skrajnie nieprawdopodobny*: 0–5%). Stopień prawdopodobieństwa jest zapisany kursywą, na przykład *bardzo prawdopodobne*. Powyższe określenia są spójne z Raportem AR5. W niniejszym Raporcie, o ile nie jest zaznaczone inaczej, wartości w nawiasach kwadratowych [x do y] wskazują oszacowane wartości zakresu “*bardzo prawdopodobne*”, albo przedziału ufności dla prawdopodobieństwa 90%.

⁵ Interaktywny Atlas dostępny jest pod adresem <https://interactive-atlas.ipcc.ch>

A. Obecny stan klimatu

Od [czasu publikacji] AR5 postęp w oszacowaniach wykorzystujących dane obserwacyjne i informacje paleoklimatyczne pozwolił uzyskać kompleksowy obraz każdego elementu systemu klimatycznego i jego zmian do chwili obecnej. Nowe symulacje modelami klimatu, nowe analizy i nowe metody, łączące wiele linii dowodowych, pogłębiły nasze zrozumienie wpływu człowieka na większą liczbę zmiennych klimatycznych, w tym na ekstrema pogodowe i klimatyczne. Wybór okresów omawianych w tej sekcji wynika z dostępności danych obserwacyjnych, źródeł danych paleoklimatycznych i artykułów recenzowanych.

A.1 Jest bezdyskusyjne, że działalność człowieka ogrzała atmosferę, oceany i lądy. Wystąpiły powszechne i szybkie zmiany w atmosferze, oceanie, kriosferze i biosferze.

{2.2, 2.3, Ramka międzyrozdziałowa 2.3, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 5.2, 5.3, 6.4, 7.3, 8.3, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6, Ramka międzyrozdziałowa 9.1} (Rysunek SPM.1, Rysunek SPM.2)

A.1.1 Zaobserwowany wzrost stężenia dobrze wymieszanych gazów cieplarnianych od około 1750 roku jest bezdyskusyjnie spowodowany działaniami człowieka. Po roku 2011 (z którego dane przedstawiono w AR5) stężenia te rosły dalej, osiągając w 2019 roku średnio rocznie 410 ppm [cząstek na milion cząstek powietrza, ang. ‘particles per million’ – przyp. tłum.] dla dwutlenku węgla (CO₂), 1866 ppb [cząstek na miliard cząstek powietrza, ang. ‘particles per billion’ – przyp. tłum.] dla metanu (CH₄) oraz 332 ppb dla podtlenku azotu (N₂O)⁶. W ostatnich sześciu dekadach lądy i oceany pochłaniały niemal stałą część (globalnie ok. 56% rocznie) antropogenicznych emisji CO₂, z pewnym zróżnicowaniem regionalnym (*wysoki poziom pewności*)⁷. {2.2, 5.2, 7.3, TS.2.2, Ramka TS.5}

A.1.2 Każda z ostatnich czterech dekad była kolejno coraz cieplejsza niż którakolwiek z wcześniejszych, począwszy od 1850 r. Globalna temperatura powierzchni⁸ w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku (2001–2020) była o 0,99 [0,84–1,10]°C wyższa niż w okresie 1850–1900⁹. W okresie 2011–2020 była zaś wyższa o 1,09 [0,95 do 1,20]°C niż w okresie 1850–1900, z większym wzrostem temperatury nad lądami (1,59 [1,34 do 1,83]°C) niż nad oceanami (0,88 [0,68 do 1,01]°C). Wyższa w porównaniu z danymi z AR5 wartość wzrostu temperatury to przede wszystkim efekt dalszego ocieplania się klimatu: +0,19 [0,16 do 0,22]°C względem okresu 2003–2012. Dodatkowo postępy metodologiczne i nowe zbiory danych wpłynęły na zaktualizowanie oszacowanego w AR6 ocieplenia o ok. 0,1°C¹⁰.

⁶ Koncentracje pozostałych gazów cieplarnianych w 2019 roku wyniosły: PFC (109 ppt w ekwiwalencie CF₄); SF₆ (10 ppt); NF₃ (2 ppt); HFC (237 ppt w ekwiwalencie HFC-134a); innych gazów objętych Protokołem Montrealskim (głównie CFC, HCFC, 1032 ppt w ekwiwalencie CFC-12) [cząstek na bilion cząstek powietrza, ang. ‘particles per trillion’ – przyp. tłum.]. Wzrost koncentracji od roku 2011 wyniósł dla CO₂ 19 ppm, dla CH₄ 63 ppb oraz dla N₂O 8 ppb.

⁷ Te pozostałe gazy cieplarniane nie są w istotnym stopniu pochłaniane przez lądy i oceany.

⁸ Termin „globalna temperatura powierzchni” jest używany w niniejszym SPM zarówno w odniesieniu do średniej temperatury powierzchni Ziemi jak i do średniej temperatury powietrza przy powierzchni. Oceniono z *dużym poziomem pewności*, że zmiany tych wielkości nie różnią się między sobą o więcej niż 10%, ale z powodu sprzecznych linii dowodowych to, czy długoterminowo różnice te będą maleć czy rosnać, można określić [jedynie] z *niskim poziomem pewności* {Ramka międzysekcyjna TS.1}

⁹ Lata 1850–1900 to najwcześniejszy okres, dla którego posiadamy dane obserwacyjne z wystarczająco dużego obszaru globu, by oszacować globalną temperaturę powierzchni i jest on – podobnie jak w AR5 i SR1.5 – wykorzystywany jako przybliżenie warunków panujących w okresie przedprzemysłowym.

¹⁰ Postępy w metodyce oraz nowe zbiory danych dostarczyły bardziej kompletnych w porównaniu z AR5 informacji o temperaturze powierzchni [Ziemi], obejmujących większą część globu, łącznie z Arktyką. W wyniku tych i innych ulepszeń oszacowanie globalnej temperatury powierzchni zmieniło się o ok. 0,1°C, wzrost ten nie stanowi jednak dodatkowego fizycznego ocieplenia od czasu raportu AR5.

A.1.3 Wzrost globalnej temperatury powierzchni spowodowany przez człowieka od okresu 1850–1900 do okresu 2010–2019¹¹ mieści się *prawdopodobnie* w zakresie od 0,8°C do 1,3°C, a najbardziej prawdopodobną wartością jest 1,07°C. Dobrze wymieszane gazy cieplarniane przyczyniły się *prawdopodobnie* do ocieplenia od 1,0°C do 2,0°C, inne czynniki antropogeniczne (głównie aerozole) przyczyniły się do ochłodzenia od 0,0°C do 0,8°C, czynniki naturalne zmieniły temperaturę powierzchni od –0,1°C do 0,1°C, a wewnętrzna zmienność klimatu od –0,2°C do 0,2°C. Jest *bardzo prawdopodobne*, że dobrze wymieszane gazy cieplarniane były *główną przyczyną*¹² ocieplenia troposfery od 1979 r., a wywołany przez człowieka ubytek ozonu w stratosferze był *skrajnie prawdopodobnie* głównym czynnikiem powodującym ochłodzenie niższej warstwy stratosfery w okresie od 1979 r. do połowy lat 90. XX w. {3.3, 6.4, 7.3, Ramka międzysekcyjna TS.1, TS.2.3} (**Rysunek SPM.2**)

A.1.4 Globalnie średnie opady nad lądami *prawdopodobnie* wzrosły od 1950 r., przy czym od lat 80. XX w. tempo wzrostu było szybsze (*średni poziom pewności*). Do obserwowanych od połowy XX w. zmian w opadach *prawdopodobnie* przyczyniły się działania człowieka, a *skrajnie prawdopodobnie* wpłynęły one na obserwowane zmiany zasolenia przypowierzchniowych wód oceanów. Szlaki niżów w umiarkowanych szerokościach geograficznych od lat 80. XX w. *prawdopodobnie* przesunęły się w kierunku biegunów na obu półkulach z wyraźnie zaznaczoną zależnością trendów od pór roku (*średni poziom pewności*). Wpływ człowieka *bardzo prawdopodobnie* przyczynił się do przesunięcia w kierunku bieguna pozatropikalnego prądu strumieniowego na półkuli południowej w okresie tamtejszego lata. {2.3, 3.3, 8.3, 9.2, TS.2.3, TS.2.4, Ramka TS.6}

A.1.5 Działalność człowieka jest *bardzo prawdopodobnie* główną przyczyną cofania się lodowców na całym świecie od lat 90. XX w. oraz zmniejszenia się powierzchni lodu morskiego w Arktyce pomiędzy okresami 1979–1988 a 2010–2019 (o ok. 40% we wrześniu i ok. 10% w marcu). W latach 1979–2020 nie odnotowano wyraźnego trendu zmian powierzchni lodu morskiego w Antarktyce, co wynika z rozbieżnych trendów w różnych podregionach i dużej zmienności naturalnej. Działalność człowieka *bardzo prawdopodobnie* przyczyniła się do spadku powierzchni wiosennej pokrywy śnieżnej na półkuli północnej od lat 50. XX w. Działalność człowieka *bardzo prawdopodobnie* przyczyniła się do obserwowanego w ostatnich dwóch dekadach topnienia powierzchni lądolodu Grenlandii, jednak istnieją jedynie *ograniczone dowody o średnim poziomie zgodności* w kwestii wpływu działalności człowieka na utratę masy lądolodu Antarktydy. {2.3, 3.4, 8.3, 9.3, 9.5, TS.2.5}

A.1.6 Jest *praktycznie pewne*, że górna warstwa oceanu (0–700 m) ociepliła się od lat 70. XX w. i ze *skrajnym prawdopodobieństwem* główną tego przyczyną jest działalność człowieka. Powodowane przez człowieka emisje CO₂ *praktycznie na pewno* są głównym powodem obecnego zakwaszenia powierzchniowych warstw wód otwartego oceanu. Poziom natlenienia wód powierzchniowych oceanu od połowy XX wieku z *wysokim poziomem pewności* spadł w wielu regionach, a ze *średnim poziomem pewności* przyczyniła się do tego działalność człowieka. {2.3, 3.5, 3.6, 5.3, 9.2, TS.2.4}

A.1.7 Średni poziom morza na świecie wzrósł w okresie 1901–2018 o 0,20 [0,15 do 0,25] m. W latach 1901–1971 średnie tempo wzrostu poziomu morza wynosiło 1,3 [0,6 do 2,1] mm/rok, w latach 1971–2006 wzrosło do 1,9 [0,8 do 2,9] mm/rok, a w latach 2006–2018 do 3,7 [3,2 do 4,2] mm/rok (*wysoki poziom pewności*). Działalność człowieka jest *bardzo prawdopodobnie* główną przyczyną tych wzrostów co najmniej od 1971 r. {2.3, 3.5, 9.6, Ramka międzyrozdziałowa 9.1, Ramka TS.4}

A.1.8 Zmiany w biosferze na lądach od 1970 roku są zgodne z globalnym ociepleniem: strefy klimatyczne na obu półkulach przesunęły się w kierunku biegunów, a sezon wegetacyjny na pozatropikalnych terenach półkuli północnej od lat 50. XX w. wydłużył się średnio o nawet dwa dni na dekadę (*wysoki poziom pewności*). {2.3, TS.2.6}

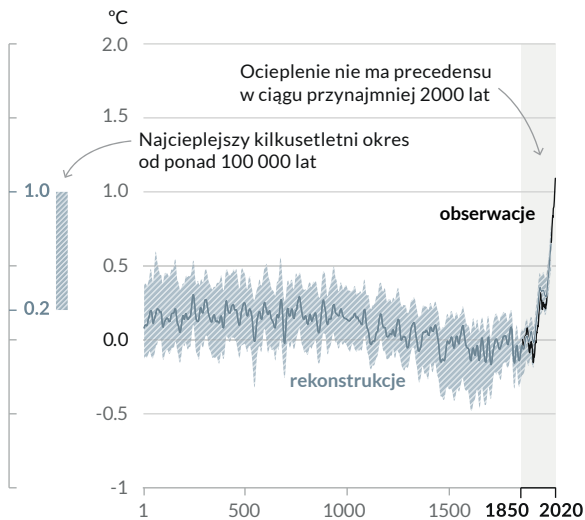
¹¹ Różnica pomiędzy okresem przyjętym w tym akapicie a A.1.2 wynika z tego, że badania atrybucyjne obejmują nieco wcześniejszy okres. Ocieplenie do lat 2010–2019 wynosi według obserwacji 1,06 [0,88 do 1,21]°C.

¹² W niniejszym SPM „główny czynnik/główna przyczyna” oznacza odpowiedzialność za ponad 50% zmiany.

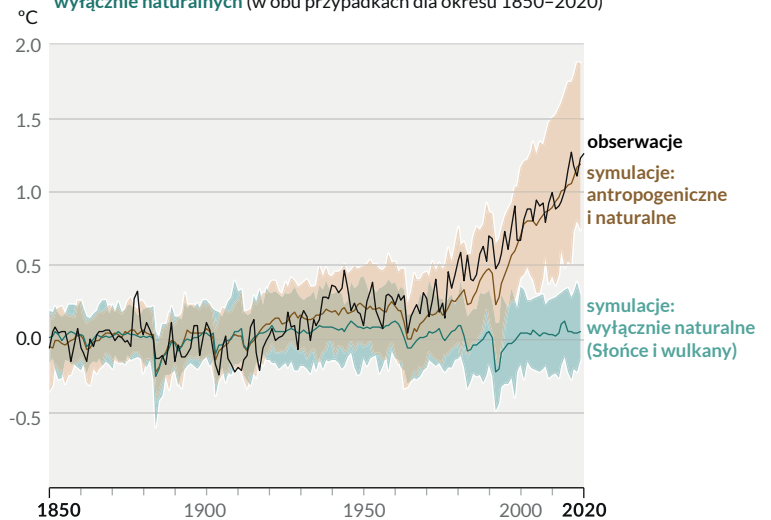
Działania człowieka doprowadziły do ocieplenia klimatu w tempie bezprecedensowym w okresie co najmniej ostatnich 2000 lat

Zmiany temperatury powierzchni Ziemi względem okresu 1850–1900

a) Zmiana globalnej temperatury powierzchni (średnie dekadowe) na podstawie rekonstrukcji (1–2000) i obserwacji (1850–2020)



b) Zmiana globalnej temperatury powierzchni (średnie roczne): obserwowana i symulowana [modelami klimatu] przy uwzględnieniu czynników antropogenicznych i naturalnych oraz wyłącznie naturalnych (w obu przypadkach dla okresu 1850–2020)



Rysunek SPM.1: Historia zmian temperatury globalnej oraz przyczyny obecnego ocieplenia.

Panel a): Zmiany globalnej temperatury powierzchni względem okresu 1850–1900 na podstawie źródeł danych paleoklimatycznych (ciągła linia szara, lata 1–2000) i obserwacji bezpośrednich (ciągła linia czarna, lata 1850–2020), średnie dekadowe. Pionowy pasek z lewej strony przedstawia oszacowaną temperaturę (zakres *bardzo prawdopodobny*) najcieplejszego, kilkusetletniego okresu od co najmniej 100 000 lat, który miał miejsce ok. 6500 lat temu podczas obecnego interglacjału (holocenu). Kolejnym kandydatem do miana okresu z najwyższymi temperaturami jest poprzedni interglacjał, ok. 125 000 lat temu. Te ocieplenia w przeszłości były skutkiem powolnych (na przestrzeni wielu tysięcy lat) zmian orbitalnych. Szare cieniowanie z białymi liniami ukośnymi pokazuje *bardzo prawdopodobne* zakresy rekonstrukcji temperatury.

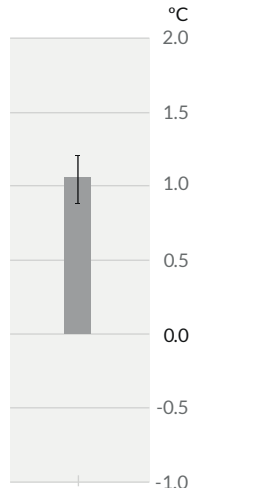
Panel b): Zmiany globalnej temperatury powierzchni w ostatnich 170 latach (czarna linia, średnie roczne) względem okresu 1850–1900, porównane z odpowiednimi symulacjami modelami klimatu CMIP6 (patrz Ramka SPM.1) zmiany temperatury wskutek oddziaływania czynników antropogenicznych i naturalnych łącznie (brązowy) oraz wyłącznie naturalnych (aktywność słoneczna i wulkaniczna, zielony). Kolorowe linie ciągłe pokazują średnią z wielu modeli, a kolorowe pola wynikające z nich *bardzo prawdopodobny* zakres zmienności (patrz Rysunek SPM.2, z oceną udziału czynników [naturalnych i antropogenicznych] w ociepleniu).

{2.3.1, 3.3, Ramka międzyrozdziałowa 2.3, Ramka międzysekcyjna TS.1, Rysunek 1a, TS.2.2}

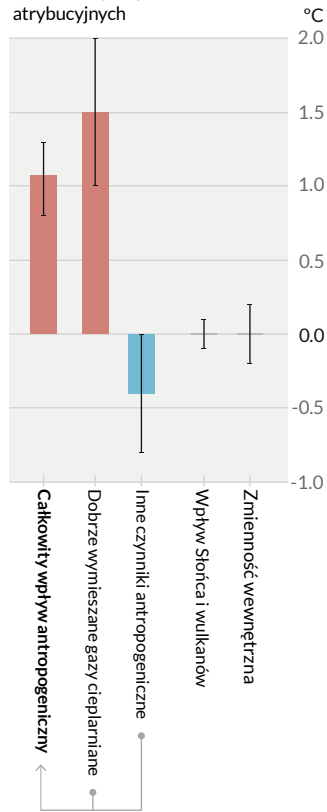
Obserwowane ocieplenie jest spowodowane emisjami będącymi skutkiem działalności człowieka, ocieplenie związane z gazami cieplarnianymi jest częściowo maskowane przez chłodzący wpływ aerozoli

Obserwowane ocieplenie **Wkłady w ocieplenie oszacowane na podstawie dwóch uzupełniających się metod**

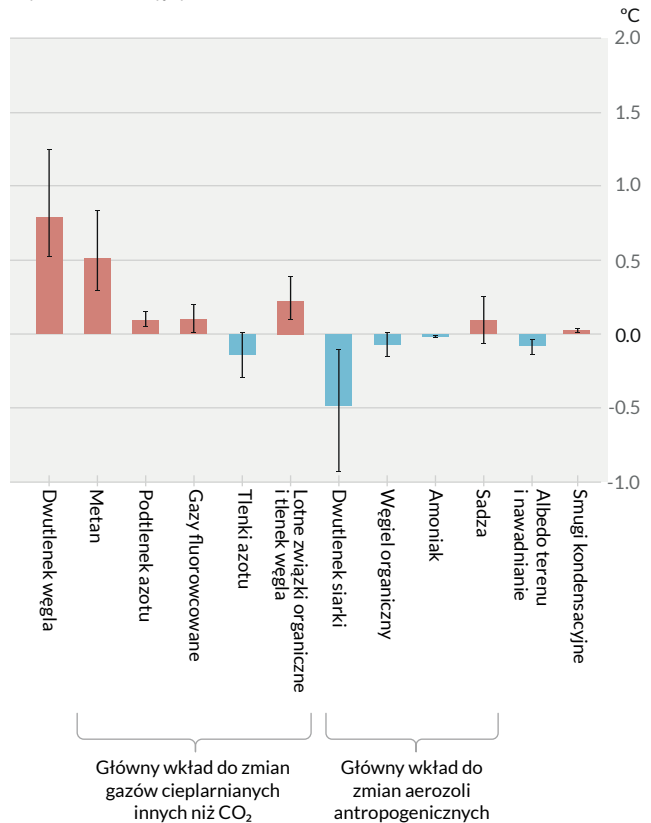
a) Ocieplenie obserwowane w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900



b) Wkład w ocieplenie w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900, oszacowany na podstawie badań atrybucyjnych



c) Wkład w ocieplenie w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900, oszacowany na podstawie badań wymuszeń radiacyjnych



Rysunek SPM.2: Oszacowanie wkładu [różnych czynników] w ocieplenie w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900.

Panel a): Obserwowane globalne ocieplenie (wzrost globalnej temperatury powierzchni) i jego *bardzo prawdopodobny* zakres {3.3.1, Ramka międzyrozdziałowa 2.3}.

Panel b): Dowody z badań atrybucyjnych, które łączą informacje z modeli klimatycznych i obserwacji. Panel pokazuje zmiany temperatury będące efektem sumy wszystkich wpływów antropogenicznych, zmiany w stężeniach dobrze wymieszanych gazów cieplarnianych, innych wpływów antropogenicznych takich jak aerozole, ozon i zmiany użytkowania terenu (albedo), wpływu Słońca i wulkanów oraz wewnętrznej zmienności klimatu. Przedziałami pokazano *prawdopodobny* zakres {3.3.1}.

Panel c): Dowody wynikające z oceny wymuszenia radiacyjnego i czułości klimatu. Panel pokazuje zmiany temperatury będące efektem działania poszczególnych czynników antropogenicznych, takich jak emisje gazów cieplarnianych, aerozoli i ich prekursorów; zmiany użytkowania terenu (zmiany albedo i nawadnianie) oraz smugi kondensacyjne. Przedziały pokazują zakresy *bardzo prawdopodobne*. Oszacowania uwzględniają zarówno bezpośrednie emisje do atmosfery jak i ich wpływ, o ile ma miejsce, na inne czynniki zmieniające na klimat. W przypadku aerozoli uwzględniono zarówno efekt bezpośredni (oddziaływanie z promieniowaniem) jak i pośredni (wpływ na chmury). {6.4.2, 7.3}

A.2 Skala ostatnich zmian w całym systemie klimatycznym oraz aktualny stan szeregu elementów systemu klimatycznego są bezprecedensowe w skalach czasowych od stuleci do wielu tysięcy lat. {Ramka międzyrozdziałowa 2.1, 2.2, 2.3, 5.1} (Rysunek SPM.1)

A.2.1 Koncentracja CO₂ w atmosferze była w 2019 r. wyższa niż kiedykolwiek w ostatnich 2 mln lat (*wysoki poziom pewności*), koncentracje CH₄ i N₂O były zaś wyższe niż kiedykolwiek w ostatnich 800 000 lat (*bardzo wysoki poziom pewności*). Od 1750 r. zmiany stężeń CO₂ (47%) i CH₄ (156%) znacznie przekroczyły zakres naturalnych zmian zachodzących w okresach wielu tysięcy lat pomiędzy zlodowaceniami i interglacjami w okresie co najmniej ostatnich 800 000 lat, a zmiany stężeń N₂O (23%) są do nich zbliżone (*bardzo wysoki poziom pewności*).
{2.2, 5.1, TS.2.2}

A.2.2 Globalna temperatura powierzchni rosła od 1970 r. szybciej niż w jakimkolwiek innym 50-letnim okresie w ciągu co najmniej ostatnich 2000 lat (*wysoki poziom pewności*). Temperatury w ostatniej dekadzie (2011–2020) przekroczyły temperatury z ostatniego kilkusetletniego ciepłego okresu sprzed ok. 6500 lat¹³ [0,2°C do 1°C względem 1850–1900] (*średni poziom pewności*). We wcześniejszym ciepłym okresie ok. 125 000 lat temu kilkusetletnie średnie temperatury [0,5°C do 1,5°C względem 1850–1900] były podobne do obserwowanych w ostatniej dekadzie (*średni poziom pewności*).
{Ramka międzyrozdziałowe 2.1, 2.3, Ramka międzysekcyjna TS.1} (Rysunek SPM.1)

A.2.3 W okresie 2011–2020, średnia roczna powierzchnia lodu morskiego w Arktyce spadła do poziomu najniższego od co najmniej 1850 r. (*wysoki poziom pewności*). Powierzchnia arktycznego lodu morskiego późnym latem była mniejsza niż w ciągu co najmniej ostatniego 1000 lat (*średni poziom pewności*). Globalny charakter wycofywania się lodowców od 1950 r., z niemal wszystkimi lodowcami na świecie cofającymi się jednocześnie, jest bezprecedensowy od co najmniej 2000 lat (*średni poziom pewności*).
{2.3, TS.2.5}

A.2.4 Globalny średni poziom morza podnosi się od 1900 roku szybciej niż w jakimkolwiek innym stuleciu w okresie co najmniej ostatnich 3000 lat (*wysoki poziom pewności*). W przeciągu ostatniego stulecia woda w oceanach nagrzewała się szybciej niż kiedykolwiek od końca wyjścia z ostatniego zlodowacenia (ok. 11 000 lat temu) (*średni poziom pewności*). Na przestrzeni ostatnich 50 milionów lat postępował długoterminowy wzrost pH [spadek kwasowości – przyp. tłum.] wód powierzchniowych otwartego oceanu, a wartości pH tak niskie jak w ostatnich dekadach są czymś niespotykanym w okresie ostatnich 2 mln lat (*średni poziom pewności*).
{2.3, TS.2.4, Ramka TS.4}

¹³ Jak stwierdzono w sekcji B1, nawet w scenariuszu bardzo niskich emisji SSP1-1.9 szacuje się, że co najmniej do 2100 r. temperatury będą utrzymywać się na poziomie wyższym niż w ostatniej dekadzie, a więc także wyższym, niż podczas trwającego kilka stuleci ciepłego okresu 6500 lat temu.

A.3 Wywołana przez człowieka zmiana klimatu już obecnie wpływa na wiele ekstremów pogodowych i klimatycznych we wszystkich regionach świata. Dowody na zmiany w ekstremalnych zjawiskach takich jak fale upałów, ulewy, susze oraz cyklony tropikalne, a w szczególności ich związek z wpływem człowieka, są silniejsze niż w AR5.
{2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Ramka 8.1, Ramka 8.2, Ramka 9.2, 10.6, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 12.3} (Rysunek SPM.3)

A.3.1 Jest *praktycznie pewne*, że ekstrema ciepła (w tym fale upałów) stały się od lat 50. XX w. częstsze i bardziej intensywne w większości regionów lądowych, natomiast ekstrema chłodu (w tym fale zimna) stały się rzadsze i mniej dotkliwe, za tę zmianę odpowiada z *wysokim poziomem pewności*, głównie¹⁴ antropogeniczna zmiana klimatu. Wystąpienie niektórych ekstremalnych upałów, zaobserwowanych w ostatniej dekadzie, bez wpływu człowieka na system klimatyczny byłoby *skrajnie nieprawdopodobne*. Częstotliwość występowania morskich fal gorąca wzrosła od lat 80. XX w. mniej więcej dwukrotnie (*wysoki poziom pewności*), a wpływ człowieka *bardzo prawdopodobnie* przyczynił się do większości z tych, które wystąpiły co najmniej od 2006 r.
{Ramka 9.2, 11.2, 11.3, 11.9, TS.2.4, TS.2.6, Ramka TS.10} (Rysunek SPM.3)

A.3.2 Częstotliwość i intensywność ulewnych opadów wzrosła od lat 50. XX w. nad większością obszarów lądów, dla których posiadamy dostatecznie dużo danych obserwacyjnych by określić trend (*wysoki poziom pewności*), a główną tego przyczyną jest *prawdopodobnie* antropogeniczna zmiana klimatu. Zmiana klimatu spowodowana działalnością człowieka przyczyniła się do nasilenia susz rolniczych i środowiskowych¹⁵ w niektórych regionach z powodu zwiększonej ewapotranspiracji¹⁶ (*średni poziom pewności*).
{8.2, 8.3, 11.4, 11.6, 11.9, TS.2.6, Ramka TS.10} (Rysunek SPM.3)

A.3.3 Globalny spadek opadów monsunowych nad lądami¹⁷ od lat 50. do 80. XX w. przypisuje się częściowo antropogenicznym emisjom aerozoli na półkuli północnej, zaś ich wzrost od tamtego czasu wynika z rosnącego stężenia gazów cieplarnianych oraz dekadowej lub wielodekadowej zmienności wewnętrznej (*średni poziom pewności*). W Azji Południowej, Azji Wschodniej i Afryce Zachodniej wzrostowi opadów monsunowych w wyniku ocieplenia wskutek emisji gazów cieplarnianych przeciwdziałał spadek opadów wynikający z ochłodzenia będącego efektem antropogenicznych emisji aerozoli w XX wieku (*wysoki poziom pewności*). Wzrost wielkości opadów monsunowych w Zachodniej Afryce od lat 80. XX w. wynika częściowo z rosnącego wpływu gazów cieplarnianych oraz spadku efektu chłodzącego aerozoli antropogenicznych nad Europą i Ameryką Północną (*średni poziom pewności*).
{2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Ramka 8.1, Ramka 8.2, 10.6, Ramka TS.13}

¹⁴ W niniejszym SPM „główny czynnik” oznacza odpowiedzialność za ponad 50% zmiany.

¹⁵ Susza rolnicza i środowiskowa (w zależności od dotkniętego biomu): okres z nietypowym deficytem wilgoci w glebie, wynikającym zarówno z niedoboru opadów jak i wysokiej ewapotranspiracji, jeśli przypada na okres wegetacyjny, zaburza produkcję roślinną lub ogólne funkcjonowanie ekosystemu. Obserwowane zmiany susz meteorologicznych (niedoboru opadów) i hydrologicznych (niedoborów wody w rzekach [i wód gruntowych]) różnią się od zmian susz rolniczych i środowiskowych, co omówiono w materiale AR6 (rozdział 11).

¹⁶ Ogół procesów, dzięki którym woda jest uwalniana do atmosfery z otwartych powierzchni wód i lodu, odkrytej gleby i roślinności składających się na powierzchnię Ziemi.

¹⁷ Monson globalny definiuje się jako obszar, na którym roczna rozpiętość opadów (lokalne lato minus lokalna zima) jest większa niż 2,5 mm/dzień. Globalny lądowy opad monsunowy odnosi się do średniego opadu nad obszarami lądowymi objętych monsunem globalnym.

A.3.4 W ciągu ostatnich czterech dziesięcioleci *prawdopodobnie* wzrósł na świecie odsetek silnych cyklonów tropikalnych (kategorie 3–5), a szerokość geograficzna w zachodniej części północnego Pacyfiku, na której cyklony tropikalne osiągają największą intensywność, przesunęła się na północ; zmian tych nie można wyjaśnić wyłącznie zmiennością wewnętrzną (*średni poziom pewności*). Mamy *niski poziom pewności* co do długoterminowych (obejmujących dekady do stulecia) trendów w częstości występowania cyklonów tropikalnych wszystkich kategorii. Badania atrybucyjne wybranych przypadków i zrozumienie procesów fizycznych wskazują, że antropogeniczna zmiana klimatu powoduje nasilenie się intensywnych opadów związanych z cyklonami tropikalnymi (*wysoki poziom pewności*), ale z powodu ograniczonej liczby danych nie jest możliwe jednoznaczne określenie przeszłych trendów w skali globalnej. {8.2, 11.7, Ramka TS.10}

A.3.5 *Prawdopodobnie* od lat 50. XX w. wzrosła możliwość wystąpienia złożonych zjawisk ekstremalnych¹⁸. Obejmuje to w skali globalnej wzrost częstotliwości jednoczesnego występowania fal upałów i susz (*wysoki poziom pewności*); pogody sprzyjającej pożarom w niektórych regionach wszystkich zamieszkałych kontynentów (*średni poziom pewności*); oraz złożonych [wieloprzyczynowych] powodzi w niektórych miejscach (*średni poziom pewności*). {11.6, 11.7, 11.8, 12.3, 12.4, TS.2.6, Tabela TS.5, Ramka TS.10}

¹⁸ Złożone zjawiska ekstremalne są kombinacją wielu przyczyn i/lub zagrożeń, które przyczyniają się do powstania zagrożenia dla społeczeństwa lub środowiska. Przykładem mogą być występujące równocześnie fale upałów i susze, złożone powodzie (np. spiętrzenie sztormowe w połączeniu z ulewami i/lub wylewami rzek), warunki pogodowe sprzyjające pożarom (np. połączenie upału, suszy i wiatru) lub jednoczesne występowanie zjawisk ekstremalnych w różnych miejscach.

Zmiany klimatu dotyczą już wszystkich zamieszkanego regionów świata, a działalność człowieka przyczynia się do wielu obserwowanych zmian w ekstremach pogodowych i klimatycznych

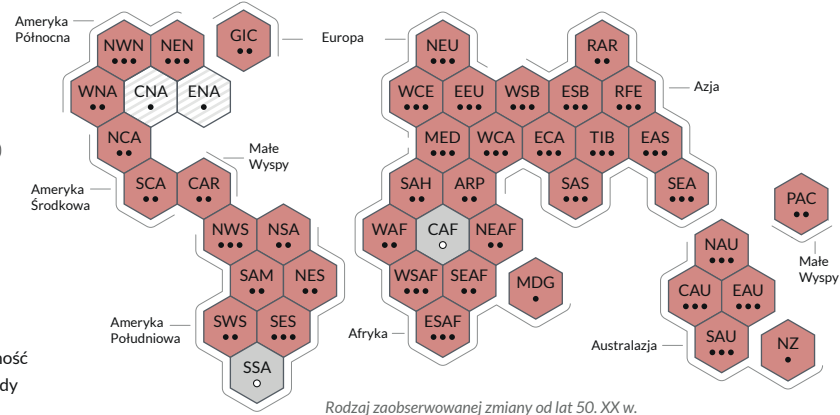
a) Synteza ocen obserwowanych zmian w ekstremach ciepła i stopnia pewności co do wpływu człowieka na te zmiany w poszczególnych regionach świata

Rodzaj obserwowanej zmiany w ekstremach ciepła

- Wzrost (41)
- Spadek (0)
- Słaba zgodność co do rodzaju zmiany (2)
- Ograniczone dane i/lub literatura (2)

Pewność co do wpływu człowieka na obserwowaną zmianę

- Duża
- Średnia
 - Niska ze względu na ograniczoną zgodność
 - Niska ze względu na ograniczone dowody



Rodzaj zaobserwowanej zmiany od lat 50. XX w.

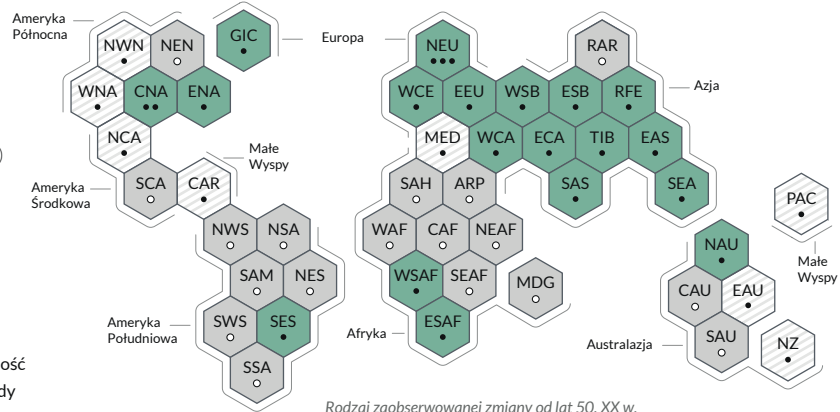
b) Synteza ocen obserwowanych zmian w intensywnych opadach i stopnia pewności co do wpływu człowieka na te zmiany w poszczególnych regionach świata

Rodzaj obserwowanej zmiany w intensywnych opadach atmosferycznych

- Wzrost (19)
- Spadek (0)
- Słaba zgodność co do rodzaju zmiany (8)
- Ograniczone dane i/lub literatura (18)

Pewność co do wpływu człowieka na obserwowaną zmianę

- Duża
- Średnia
 - Niska ze względu na ograniczoną zgodność
 - Niska ze względu na ograniczone dowody



Rodzaj zaobserwowanej zmiany od lat 50. XX w.

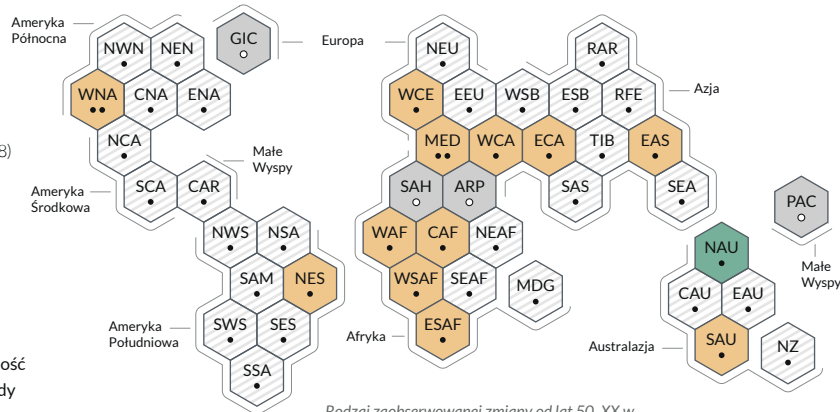
c) Synteza ocen obserwowanych zmian suszy rolniczej i środowiskowej i stopnia pewności co do wpływu człowieka na te zmiany w poszczególnych regionach świata

Rodzaj obserwowanej zmiany suszy rolniczej i środowiskowych

- Wzrost (12)
- Spadek (1)
- Słaba zgodność co do rodzaju zmiany (28)
- Ograniczone dane i/lub literatura (4)

Pewność co do wpływu człowieka na obserwowaną zmianę

- Duża
- Średnia
 - Niska ze względu na ograniczoną zgodność
 - Niska ze względu na ograniczone dowody



Rodzaj zaobserwowanej zmiany od lat 50. XX w.

Każdy sześciobok odpowiada jednemu z regionów zdefiniowanych w IPCC AR6 WGI



Podział na regiony w IPCC AR6 WGI: **Ameryka Północna:** NWN (Północno-Zachodnia Ameryka Północna), NEN (Północno-Wschodnia Ameryka Północna), WNA (Zachodnia Ameryka Północna), CNA (Środkowa Ameryka Północna), ENA (Wschodnia Ameryka Północna) **Ameryka Środkowa:** NCA (Północna Ameryka Środkowa), SCA (Południowa Ameryka Środkowa), CAR (Karaiby) **Ameryka Południowa:** NWS (Północno-Zachodnia Ameryka Południowa), NSA (Północna Ameryka Południowa), NES (Północno-Wschodnia Ameryka Południowa), SAM (Monsun Południowoamerykański), SWS (Południowo-Zachodnia Ameryka Południowa), SES (Południowo-Wschodnia Ameryka Południowa), SSA (Południowa Ameryka Południowa) **Europa:** GIC (Grenlandia/Islandia), NEU (Europa Północna), WCE (Europa Zachodnia i Środkowa), EEU (Europa Wschodnia), MED (Morze Śródziemne) **Afryka:** MED (Morze Śródziemne), SAH (Sahara), WAF (Afryka Zachodnia), CAF (Afryka Środkowa), NEAF (Afryka Północno-Wschodnia), SEAF (Afryka Południowo-Wschodnia), WSAF (Afryka Zachodnio-Południowa), ESAF (Afryka Wschodnio-Południowa), MDG (Madagaskar) **Azja:** RAR (Rosyjska Arktyka), WSB (Zachodnia Syberia), ESU (Wschodnia Syberia), RFE (Rosyjski Daleki Wschód), WCA (Zachodnia Azja Środkowa), ECA (Wschodnia Azja Środkowa), TIB (Płaskowyż Tybetański), EAS (Azja Wschodnia), ARP (Półwysep Arabski), SAS (Azja Południowo-Wschodnia) **Australazja:** NAU (Australia Północna), CAU (Australia Środkowa), EAU (Australia Wschodnia), SAU (Australia Południowa), NZ (Nowa Zelandia) **Małe Wyspy:** CAR (Karaiby), PAC (Małe Wyspy Pacyfiku)

Rysunek SPM.3: Synteza oceny obserwowanych i wynikających z atrybucji zmian regionalnych.

Zamieszkałe regiony zdefiniowane w IPCC AR6 WGI przedstawiono tu jako **sześciokąty** o jednakowych rozmiarach, umiejscowione mniej więcej zgodnie z położeniem geograficznym (skrót wyjaśniono w legendzie). Oceny dokonano dla każdego regionu jako całości dla okresu od lat 50. XX w. do chwili obecnej. Oceny dokonane w innych okresach czasu lub mniejszych obszarach mogą różnić się od tych przedstawionych na rysunku. **Kolory** w każdym panelu odpowiadają czterem ocenom obserwowanych zmian. Białych i zakreskowanych na jasnoszaro sześciokątów użyto w przypadku *niskiej zgodności* odnośnie rodzaju zmian dla całego regionu, a szarych sześciokątów – gdy mała ilość danych lub/i publikacji naukowych nie pozwala na ocenę całego regionu. Pozostałe kolory wskazują na co najmniej *średni poziom pewności* odnośnie zaobserwowanej zmiany. **Poziom pewności** co do wpływu człowieka na zaobserwowaną zmianę, oznaczony liczbą kropek, jest oparty na ocenie i atrybucji trendu oraz na publikacjach naukowych dotyczących atrybucji wybranych zdarzeń. Trzy kropki oznaczają *wysoki poziom pewności*, dwie kropki *średni poziom pewności*, a jedna kropka *niski poziom pewności*: pełna – słaba zgodność/ brak zgodności; pusta: mało dowodów).

Panel a) Dla ekstremów ciepła dowody opierają się przede wszystkim na zmianach wartości dobowych temperatur maksymalnych; dodatkowo wykorzystano badania regionalne wykorzystujące inne wskaźniki (czas trwania fal upałów, ich częstotliwość i intensywność). Czerwone sześciokąty oznaczają regiony, dla których istnieje co najmniej *średni poziom pewności* co do obserwowanego wzrostu ekstremów gorąca.

Panel b) Dla intensywnych opadów dowody opierają się przede wszystkim na zmianach wartości jedno- lub pięciodniowych sum opadów pochodzących z badań globalnych i regionalnych. Zielone sześciokąty oznaczają regiony, dla których istnieje co najmniej *średni poziom pewności* co do obserwowanego wzrostu intensywnych opadów.

Panel c) Susze rolnicze i środowiskowe oceniono na podstawie obserwowanych i symulowanych zmian wilgotności w całym profilu glebowym, pomiarów zmian wilgotności powierzchniowej warstwy gleby, bilansu wodnego (opad minus ewapotranspiracja) oraz wskaźników opadów i parowania potencjalnego. Żółte sześciokąty oznaczają regiony, dla których istnieje co najmniej *średni poziom pewności* odnośnie obserwowanego nasilenia susz danego typu, a zielone sześciokąty oznaczają regiony dla których istnieje co najmniej *średni poziom pewności* co do obserwowanego spadku występowania suszy rolniczej i środowiskowej.

Zmiany w szerszym zakresie wskaźników dla wszystkich regionów przedstawiono w tabeli TS.5. Należy zauważyć, że SSA jest jedynym regionem, w którym nie występują zmiany we wskaźnikach przedstawionych na tym rysunku, ale dotyczy go obserwowany wzrost średniej temperatury, spadek mroźności i nasilenie morskich fal gorąca.

{11.9, Tabela TS.5, Ramka TS.10, Rysunek 1, Atlas 1.3.3, Rysunek Atlas.2}.

A.4 Lepsza znajomość procesów klimatycznych, odpowiedzi systemu klimatycznego na rosnące wymuszenie radiacyjne i dowodów paleoklimatycznych pozwalają oszacować równowagową czułość klimatu na 3°C z węższym zakresem [niepewności] niż w AR5. {2.2, 7.3, 7.4, 7.5, Ramka 7.2, Ramka międzyrozdziałowa 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.1 Antropogeniczne wymuszenie radiacyjne o 2,72 [1,96 do 3,48] W/m² w 2019 r. względem 1750 r. spowodowało ocieplenie systemu klimatycznego. Ocieplenie to wynika przede wszystkim z podwyższonego stężenia gazów cieplarnianych i jest częściowo pomniejszone przez chłodzący wpływ podwyższonego stężenia aerozoli. W porównaniu do informacji przedstawionych w AR5, wymuszenie radiacyjne wzrosło o 0,43 W/m² (19 %), z czego 0,34 W/m² jest skutkiem wzrostu stężenia gazów cieplarnianych po 2011 r. Reszta jest skutkiem rozwoju wiedzy oraz zmian w oszacowaniach wymuszenia związanego z aerozolami, które wynikają ze spadku ich stężeń i udoskonalenia metod obliczeniowych (*wysoki poziom pewności*).
{2.2, 7.3, TS.2.2, TS.3.1}

A.4.2 Dodatkowo antropogeniczne wymuszenie radiacyjne netto powoduje akumulację dodatkowej energii w systemie klimatycznym (ogrzewanie), częściowo kompensowane większym tempem ucieczki energii w kosmos w wyniku ocieplenia powierzchni Ziemi. Pomiędzy okresami 1971–2006¹⁹ i 2006–2018²⁰ średnie obserwowane tempo ogrzewania systemu klimatycznego wzrosło z 0,50 [0,32 do 0,69] W/m² do 0,79 [0,52 do 1,06] W/m² (*wysoki poziom pewności*). Za ocieplenie oceanów odpowiada 91% ciepła gromadzącego się w systemie klimatycznym. Na ocieplenie lądu, utratę lodu i ocieplenie atmosfery przypada zaś odpowiednio około 5%, 3% i 1% (*wysoki poziom pewności*).
{7.2, Ramka 7.2, TS.3.1}

A.4.3 Ocieplenie systemu klimatycznego, skutkujące zanikiem lodu na lądach i rozszerzaniem cieplnym wody w ogrzewających się oceanach, spowodowało wzrost średniego globalnego poziomu morza. Rozszerzalność cieplna wody odpowiada za 50% wzrostu poziomu morza w latach 1971–2018; 22% wynika z utraty lodu z lodowców, 20% z topnienia lądolodów, a 8% ze zmian w ilości wody zgromadzonej na lądach [w zbiornikach i glebie – przyp. tłum.]. Pomiędzy okresami 1992–1999 i 2010–2019 tempo topnienia lądolodów wzrosło czterokrotnie. Łączna utrata masy przez lądolody i lodowce stała się głównym powodem wzrostu średniego globalnego poziomu morza w latach 2006–2018 (*wysoki poziom pewności*).
{Ramka międzyrozdziałowa 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.4 Równowagowa czułość klimatu [zmiana średniej temperatury powierzchni Ziemi w odpowiedzi na podwojenie koncentracji CO₂ – po tym, jak bilans radiacyjny planety powróci do stanu równowagi, co może trwać wiele stuleci – przyp. tłum.] jest ważną wielkością wykorzystywaną do oszacowania odpowiedzi klimatu na wymuszenia radiacyjne. Na podstawie wielu linii dowodowych²¹, zakres równowagowej czułości klimatu *bardzo prawdopodobnie* zawiera się w przedziale od 2°C (*wysoki poziom pewności*) do 5°C (*średni poziom pewności*). Najlepsze oszacowanie, w ocenie AR6, wynosi 3°C, z *prawdopodobnym* zakresem niepewności 2,5–4°C (*wysoki poziom pewności*), w porównaniu z zakresem 1,5–4,5°C w raporcie AR5, w którym nie podano najlepszego oszacowania.
{7.4, 7.5, TS.3.2}

¹⁹ skumulowany w okresie 1971–2006 wzrost energii: 282 [177 do 387] ZJ (1 ZJ = 10²¹ J).

²⁰ skumulowany w okresie 2006–2018 wzrost energii: 152 [100 do 205] ZJ.

²¹ Zrozumienie procesów klimatycznych, pomiary instrumentalne, badania paleoklimatyczne oraz ograniczenia wynikające z modelowania (zob. Słowniczek).

B. Przyszłość klimatu – możliwe scenariusze

W celu przeanalizowania odpowiedzi klimatu na szerszy niż w AR5 zakres możliwych emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń oraz zmian użytkowania terenu, w całym niniejszym raporcie konsekwentnie rozpatruje się zestaw pięciu nowych, przykładowych scenariuszy emisji. Ten zestaw scenariuszy jest wykorzystany w symulacjach modelami klimatu w celu uzyskania projekcji [prognoz przy założonym scenariuszu – przyp. tłum.] zmian w systemie klimatycznym. Projekcje te uwzględniają aktywność słoneczną i wymuszenie wulkaniczne. O ile nie zaznaczono inaczej, wyniki dla XXI wieku przedstawiono dla bliskiej przyszłości (2021–2040), średnioterminowej przyszłości (2041–2060) i dalekiej przyszłości (2081–2100) względem okresu 1850–1900.

Ramka SPM.1: Scenariusze, modele klimatu i projekcje

Ramka SPM.1.1: Raport opisuje odpowiedź klimatu na pięć przykładowych scenariuszy, obejmujących wachlarz opisanych w literaturze naukowej możliwych kierunków ewolucji antropogenicznych czynników zmiany klimatu. Punktem startowym jest rok 2015. Uwzględniono scenariusze²² z wysokimi i bardzo wysokimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP3-7.0 i SSP5-8.5), dla których emisje CO₂ mniej więcej podwajają się w stosunku do obecnego poziomu odpowiednio do 2100 i 2050 r., scenariusze ze średnimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP2-4.5), w których emisje CO₂ do połowy stulecia utrzymują się na poziomie zbliżonym do obecnego, oraz scenariusze z bardzo niskimi i niskimi emisjami gazów cieplarnianych, w których emisje CO₂ spadają do zera netto około 2050 r. lub krótko potem, po czym następuje pochłanianie CO₂ (emisje „negatywne” netto) z różnymi wydajnościami. Emisje w poszczególnych scenariuszach różnią się w zależności od [przyjętych] założeń społeczno-gospodarczych, stopnia mitygacji zmiany klimatu oraz, w przypadku aerozoli i prekursorów ozonu innych niż metan, od ograniczania zanieczyszczenia powietrza. Inne założenia mogą dać podobne wyniki odnośnie emisji i odpowiedzi systemu klimatycznego, ale założenia społeczno-gospodarcze oraz realność czy prawdopodobieństwo poszczególnych scenariuszy nie są przedmiotem niniejszego podsumowania.

{TS.1.3, 1.6, Ramka międzyrodziałowa 1.4} (Rysunek SPM.4)

Ramka SPM.1.2: Raport przedstawia wyniki symulacji modelami klimatu uwzględnionymi w Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) [Projekcie Porównania Modeli Klimatu, faza 6 – przyp. tłum.], prowadzonym w ramach Światowego Programu Badania Klimatu. W modelach uwzględnia się nowe, lepsze odwzorowania procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych, a wyniki mają wyższą rozdzielczość, niż te wykorzystywane w poprzednich raportach IPCC. Dzięki temu osiągnięto poprawę w odzwierciedleniu bieżącego stanu większości wielkoskalowych oznak zmiany klimatu oraz wielu innych aspektów systemu klimatycznego. Nadal istnieją pewne różnice w stosunku do obserwacji, przykładowo w przypadku regionalnych wzorców opadów. W przypadku przedstawionych w raporcie symulacji CMIP6, średnia globalna temperatura powierzchni policzona dla zespołu symulacji historycznych [dotyczących przeszłości – przyp. tłum.] odbiega od obserwacji o nie więcej niż 0,2°C, a obserwowane ocieplenie *bardzo prawdopodobnie* mieści się w zakresie wyników zespołu CMIP6. Należy jednak zauważyć, że niektóre modele CMIP6 pokazują ocieplenie wykraczające (w górę lub w dół) poza wskazywany w raporcie *bardzo prawdopodobny* zakres obserwowanego ocieplenia.

{1.5, Ramka międzyrodziałowa 2.2, 3.3, 3.8, TS.1.2, Ramka międzysekcyjna TS.1} (Rysunek SPM.1 b, Rysunek SPM.2)

Ramka SPM.1.3: Zakres czułości klimatu w modelach CMIP6 uwzględnionych w raporcie jest większy niż w modelach CMIP5 oraz niż *bardzo prawdopodobny* zakres [czułości klimatu] określony w AR6 na podstawie różnorodnych linii dowodów. Modele CMIP6 pokazują również wyższą średnią czułość klimatu niż modele CMIP5 i najlepsze szacunki z AR6. Wyższe wartości czułości klimatu CMIP6 w porównaniu do CMIP5 mają źródło w silniejszym sprzężeniu zwrotnym chmur, które w CMIP6 jest wyższe o około 20%.

{Ramka 7.1, 7.3, 7.4, 7.5, TS.3.2}

Ramka SPM.1.4: W tym raporcie IPCC po raz pierwszy oszacowano przyszłe zmiany globalnej temperatury powierzchni, ocieplenia oceanów i poziomu morza wykorzystując projekcje zespołem wielu modeli z równoczesnym uwzględnieniem więzów wynikających z obserwacji i symulacji przeszłości, jak również oszacowania czułości klimatu dokonanej w ramach AR6. W przypadku innych wielkości nie dysponujemy jeszcze dostatecznie dobrymi metodami,

²² W niniejszym raporcie pięć przykładowych scenariuszy jest oznaczanych jako SSPx-y, gdzie „SSPx” oznacza Wspólną Ścieżkę [Rozwoju] Społeczno-Ekonomicznego (ang. „Shared Socio-economic Pathway”, w skrócie „SSP”) opisującą trendy społeczno-ekonomiczne będące podstawą scenariusza, a „y” określa przybliżoną wielkość wymuszenia radiacyjnego (w W/m²) w 2100 r. wynikającą z realizacji scenariusza. Szczegółowe porównanie ze scenariuszami stosowanymi we wcześniejszych raportach IPCC przedstawiono w sekcjach TS1.3 oraz 1.6 i 4.6. WGI nie ocenia ścieżek rozwoju SSP, będących podstawą poszczególnych scenariuszy wymuszenia radiacyjnego, których użyto do przeprowadzenia modelowania klimatu. Oznaczenia SSPx-y pozwalają dotrzeć do literatury źródłowej, w której poszczególne ścieżki wymuszeń są wykorzystywane jako dane wejściowe do symulacji modelami klimatu. IPCC zachowuje neutralność odnośnie założeń ścieżek SSP, które nie obejmują wszystkich możliwych scenariuszy. Można rozważać lub opracowywać inne [niż oparte na SSP] scenariusze.

²³ Ujemne emisje netto CO₂ są osiąganym, gdy antropogeniczne usuwanie CO₂ przewyższa antropogeniczne emisje. {Słowniczek}

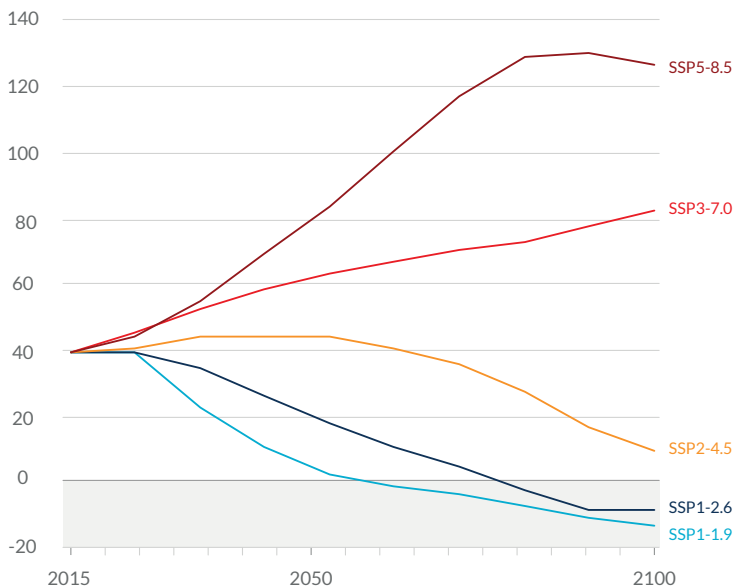
by w ten sposób precyzować prognozy. Pomimo tego, dla wielu zmiennych przewidywany geograficzny rozkład zmian dla określonego wzrostu temperatury jest podobny we wszystkich rozważanych scenariuszach, niezależnie od tego, kiedy ten wzrost nastąpi.

{1.6, Ramka 4.1, 4.3, 4.6, 7.5, 9.2, 9.6, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzysekcyjna TS.1}

Przyszłe emisje spowodują w przyszłości dodatkowe ocieplenie. Całkowite ocieplenie w przyszłości będzie przede wszystkim efektem dotychczasowych i przyszłych emisji CO₂

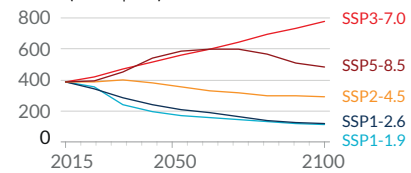
a) Przyszłe roczne emisje CO₂ (po lewej) oraz wybranych istotnych substancji innych niż CO₂ (po prawej) według pięciu przykładowych scenariuszy

Dwutlenek węgla (GtCO₂/rok)

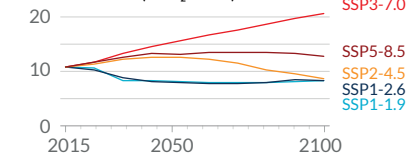


Wybrane gazy cieplarniane inne niż CO₂

Metan (MtCH₄/rok)

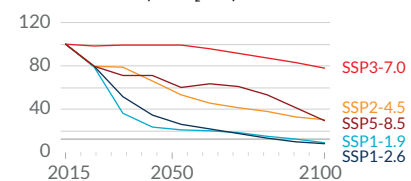


Podtlenek azotu (MtN₂O/rok)



Wybrana substancja zanieczyszczająca powietrze będąca też prekursorem aerozoli

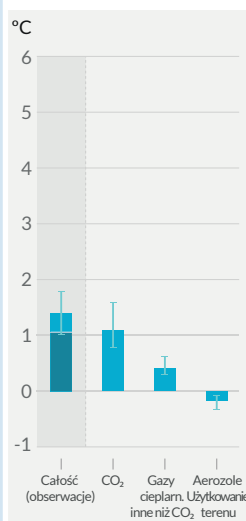
Dwutlenek siarki (MtSO₂/rok)



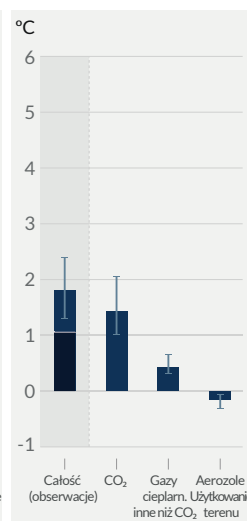
b) Udział emisji różnych substancji, głównie CO₂ we wzroście temperatury Ziemi

Zmiana globalnej temperatury powierzchni w okresie 2081–2100 w stosunku do okresu 1850–1900 (°C)

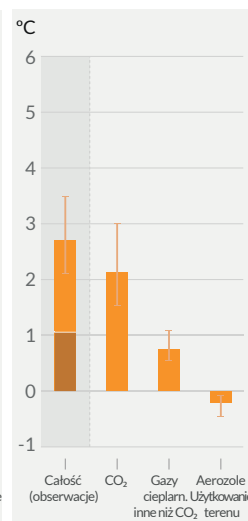
SSP1-1.9



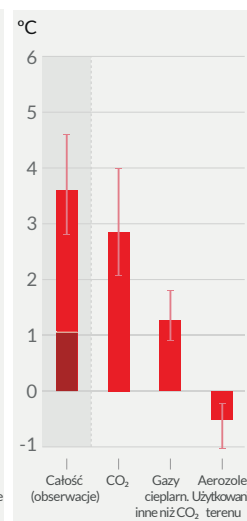
SSP1-2.6



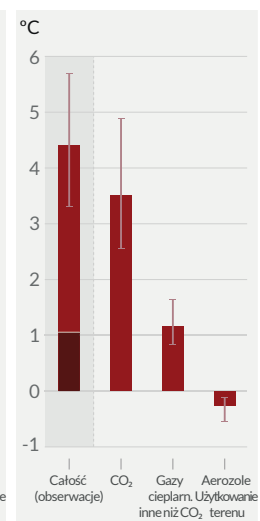
SSP2-4.5



SSP3-7.0



SSP5-8.5



Całkowite ocieplenie (dotychczasowe ocieplenie w ciemniejszym odcieniu), ocieplenie spowodowane CO₂, ocieplenie spowodowane gazami cieplarnianymi innymi niż CO₂ oraz chłodzenie spowodowane zmianami aerozoli i użytkowania terenu

Rysunek SPM.4: Przyszłe antropogeniczne emisje kluczowych czynników powodujących zmianę klimatu i udział poszczególnych grup czynników w ociepleniu dla pięciu przykładowych scenariuszy używanych w niniejszym Raporcie.

Pięć scenariuszy to SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 i SSP5-8.5.

Panel a) Roczne emisje antropogeniczne (pochodzące z działalności człowieka) w okresie 2015–2100. Na rysunku znajdują się krzywe obrazujące emisje dwutlenku węgla (CO_2) ze wszystkich sektorów (GtCO_2/rok) (lewy wykres) oraz trzy inne wybrane kluczowe czynniki uwzględnione w scenariuszach: metan (CH_4 , MtCH_4/rok , prawy górny wykres), podtlenek azotu (N_2O , $\text{MtN}_2\text{O}/\text{rok}$, prawy środkowy wykres) i dwutlenek siarki (SO_2 , MtSO_2/rok , prawy dolny wykres, ma wkład do aerozoli antropogenicznych pokazanych w panelu b).

Panel b) Udziały w ociepleniu poszczególnych czynników antropogenicznych według grup oraz według scenariuszy pokazane jako zmiana globalnej temperatury powierzchni ($^{\circ}\text{C}$) w okresie 2081–2100 względem okresu 1850–1900, ze wskazaniem [wielkości] ocieplenia do chwili obecnej. Słupki i przedziały (wąsy) przedstawiają odpowiednio wartości mediany i zakres *bardzo prawdopodobny*. Na wykresach dla każdego scenariusza słupki przedstawiają: całkowite globalne ocieplenie ($^{\circ}\text{C}$; słupek „Całość”) (patrz Tabela SPM.1) oraz udział w ociepleniu (w $^{\circ}\text{C}$) zmian stężenia CO_2 (słupek „ CO_2 ”), gazów cieplarnianych innych niż CO_2 (słupek „Gazy cieplarniane inne niż CO_2 ”), obejmujący dobrze wymieszane gazy cieplarniane i ozon oraz ochłodzenie netto powodowane przez inne czynniki antropogeniczne (słupek „Aerozole i Użytkowanie terenu”; aerozole antropogeniczne, zmiany albedo wynikające ze zmian w użytkowaniu gruntów i zmiany powodowane nawadnianiem oraz lotnicze smugi kondensacyjne; patrz Rysunek SPM.2, panel c, aby zapoznać się z dotychczasowym udziałem poszczególnych czynników w ociepleniu). Ciemniejsza część na słupku „Całość” wskazuje najlepsze oszacowanie obserwowanego ocieplenia w okresie 2010–2019 w stosunku do okresu 1850–1900 (patrz Rysunek SPM.2, panel a). Wkłady w ocieplenie pokazane na panelu b są obliczane analogicznie jak dla słupka „Całość”, co wyjaśniono w tabeli SPM.1. Dla pozostałych słupków udział poszczególnych grup czynników został obliczony przy pomocy fizycznego emulatora temperatury powierzchni Ziemi, opierającego się na oszacowaniach czułości klimatu i wymuszenia radiacyjnego.

{Ramka międzyrozdziałowa 1.4, 4.6, Rysunek 4.35, 6.7, Rysunek 6.18, 6.22 i 6.24, Ramka międzyrozdziałowa 7.1, 7.3, Rysunek 7.7, Ramka TS.7, Rysunki TS.4 i TS.15}.

B.1 We wszystkich rozważanych scenariuszach globalna temperatura powierzchni będzie nadal rosnąć co najmniej do połowy stulecia. O ile w najbliższych dekadach nie nastąpią głębokie redukcje emisji CO_2 i innych gazów cieplarnianych, globalne ocieplenie przekroczy kolejno progi $1,5^{\circ}\text{C}$ i 2°C jeszcze w XXI wieku.

{2.3, Ramki międzyrozdziałowe 2.3 i 2.4, 4.3, 4.4, 4.5} (Rysunek SPM.1, Rysunek SPM.4, Rysunek SPM.8, Tabela SPM.1, Ramka SPM.1)

B.1.1 W porównaniu z okresem 1850–1900, średnia globalna temperatura powierzchni w okresie 2081–2100 *bardzo prawdopodobnie* będzie wyższa o $1,0$ – $1,8^{\circ}\text{C}$ w scenariuszu bardzo niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-1.9), o $2,1$ – $3,5^{\circ}\text{C}$ w scenariuszu pośrednim (SSP2-4.5) oraz o $3,3$ – $5,7^{\circ}\text{C}$ w scenariuszu bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP5-8.5)²⁴. Ostatni okres, gdy globalna temperatura powierzchni utrzymywała się na poziomie $2,5^{\circ}\text{C}$ lub więcej powyżej tej z okresu 1850–1900 miał miejsce ponad 3 miliony lat temu (*średni poziom pewności*).

{2.3, Ramka międzyrozdziałowa 2.4, 4.3, 4.5, Ramka TS.2, Ramka TS.4, Ramka międzysekcyjna TS.1} (Tabela SPM.1)

Tabela SPM.1: Zmiany globalnej temperatury powierzchni, oszacowane na podstawie wielu linii dowodów, dla wybranych 20-letnich okresów i pięciu rozważanych przykładowych scenariuszy emisji. Różnice temperatur względem średniej temperatury powierzchni Ziemi w okresie 1850–1900 podano w $^{\circ}\text{C}$. Uwzględniono wynoszącą $+0,08$ [$-0,01$ do $+0,12$] $^{\circ}\text{C}$ poprawkę oszacowania zaobserwowanego przeszłego ocieplenia dla lat 1986–2005, czyli okresu referencyjnego wykorzystywanego w AR5 (zob. przypis 10). Zmiany względem najnowszego okresu referencyjnego, czyli 1995–2014, można obliczyć w przybliżeniu, odejmując od liczb podanych w tabeli $0,85^{\circ}\text{C}$, czyli wartość będącą najlepszym oszacowaniem ocieplenia zaobserwowanego pomiędzy okresami 1850–1900 i 1995–2014. {Ramka międzyrozdziałowa 2.3, 4.3, 4.4, Ramka międzysekcyjna TS.1}

²⁴ Zmiany globalnej temperatury powierzchni, o ile nie wskazano inaczej, podano jako 20-letnie średnie ruchome.

Scenariusz	Bliska przyszłość, 2021–2040		Średnioterminowa przyszłość, 2041–2060		Daleka przyszłość, 2081–2100	
	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo</i> <i>prawdo-</i> <i>podobny</i> (°C)	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo</i> <i>prawdo-</i> <i>podobny</i> (°C)	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo</i> <i>prawdo-</i> <i>podobny</i> (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 do 1,7	1,6	1,2 do 2,0	1,4	1,0 do 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 do 1,8	1,7	1,3 do 2,2	1,8	1,3 do 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 do 1,8	2,0	1,6 do 2,5	2,7	2,1 do 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 do 1,8	2,1	1,7 do 2,6	3,6	2,8 do 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 do 1,9	2,4	1,9 do 3,0	4,4	3,3 do 5,7

B.1.2 Na podstawie wielu linii dowodów oszacowano, że w przypadku rozważanych w raporcie scenariuszy wysokich i bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (odpowiednio SSP3-7.0 i SSP5-8.5) ocieplenie o 2°C względem okresu 1850–1900 zostanie przekroczone w XXI wieku. Jest *skrajnie prawdopodobne*, że globalne ocieplenie o 2°C zostanie przekroczone również w scenariuszu pośrednim (SSP2-4.5). W scenariuszach bardzo niskich i niskich emisji gazów cieplarnianych przekroczenie [progu] globalnego ocieplenia o 2°C jest *skrajnie mało prawdopodobne* (SSP1-1.9) lub *mało prawdopodobne* (SSP1-2.6)²⁵. Przekroczenie wartości 2°C globalnego ocieplenia w średnioterminowej przyszłości (2041–2060) jest *bardzo prawdopodobne* w scenariuszu bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP5-8.5), *prawdopodobne* w scenariuszu wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP3-7.0) i *raczej prawdopodobne* w scenariuszu średnich emisji gazów cieplarnianych (SSP2-4.5)²⁶.
{4.3, Ramka międzysekcyjna TS.1} (Tabela SPM.1, Rysunek SPM.4, Ramka SPM.1)

B.1.3 W przypadku rozważanych w raporcie scenariuszy średnich, wysokich i bardzo wysokich emisji (odpowiednio SSP2-4.5, SSP3-7.0 i SSP5-8.5), globalne ocieplenie przekroczy próg 1,5°C względem okresu 1850–1900 w XXI wieku. Biorąc pod uwagę rozpatrywane pięć scenariuszy, w bliskiej przyszłości (2021–2040), przekroczenie poziomu globalnego ocieplenia o 1,5°C jest *bardzo prawdopodobne* w scenariuszu bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP5-8.5), *prawdopodobne* w scenariuszach średnich i wysokich emisji (SSP2-4.5 i SSP3-7.0) oraz *raczej prawdopodobne* w scenariuszu niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-2.6) i scenariuszu bardzo niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-1.9)²⁷. Ponadto dla scenariusza bardzo niskich emisji (SSP1-1.9) jest *raczej prawdopodobne*, że globalna temperatura powierzchni spadnie poniżej 1,5°C pod koniec XXI w., a przejściowe przekroczenie poziomu globalnego ocieplenia o 1,5°C nie będzie większe niż 0,1°C.
{4.3, Ramka międzysekcyjna TS.1} (Tabela SPM.1, Rysunek SPM.4)

²⁵ SSP1-1.9 i SSP1-2.6 to scenariusze, których punktem początkowym jest 2015 r. i w których emisje gazów cieplarnianych są niskie i bardzo niskie, a emisje CO₂ spadają do zera netto około 2050 r., po czym stają się mniej lub bardziej ujemne.

²⁶ Przekroczenie jest zdefiniowane jako wzrost globalnej temperatury powierzchni, uśrednionej w okresie 20 lat, przekraczający określony poziom globalnego ocieplenia.

²⁷ Dzięki analizie przykładowych scenariuszy, wielu linii dowodowych umożliwiających ocenę przyszłej globalnej temperatury powierzchni w odpowiedzi na wymuszenie radiacyjne oraz ulepszeniu oszacowań przeszłego ocieplenia możliwe jest określenie w AR6 momentu, gdy dany poziom globalnego ocieplenia zostanie przekroczony po raz pierwszy. Nie można więc bezpośrednio porównywać oszacowań w AR6 z tymi z raportu SR1.5 SPM, w którym na podstawie prostej liniowej ekstrapolacji tempa ocieplenia z ostatnich lat określono, że ocieplenie o 1,5°C nastąpi prawdopodobnie pomiędzy 2030 a 2052 r. Uwzględnienie scenariuszy zbliżonych do SSP1-1.9 zamiast ekstrapolacji liniowej, powoduje, że oszacowanie momentu pierwszego przekroczenia globalnego ocieplenia o 1,5°C z SR1.5 jest zbliżone do najlepszego oszacowania z niniejszego raportu.

B.1.4 Globalna temperatura powierzchni może każdego roku leżeć powyżej lub poniżej linii trendu antropogenicznego ocieplenia ze względu na dużą zmienność naturalną²⁸. Pojawienie się pojedynczych lat, w których globalna temperatura powierzchni przekroczy określony poziom, na przykład 1,5°C lub 2°C w stosunku do okresu 1850–1900, nie oznacza, że został osiągnięty dany poziom globalnego ocieplenia²⁹. {Ramka międzyrozdziałowa 2.3, 4.3, 4.4, Ramka 4.1, Ramka międzysekcyjna TS.1} **(Tabela SPM.1, Rysunek SPM.1, Rysunek SPM.8)**

B.2 **Wiele zmian w systemie klimatycznym nasila się jako bezpośredni efekt rosnącego globalnego ocieplenia. Wśród nich są wzrost częstotliwości i intensywności ekstremów ciepła, morskich fal gorąca i silnych opadów, susz rolniczych i środowiskowych w niektórych regionach oraz odsetka najsilniejszych cyklonów tropikalnych, a także spadku złodzenia mórz Arktyki, pokrywy śnieżnej i wieloletniej zmarzliny.** {4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 8.2, 8.4, Ramka 8.2, 9.3, 9.5, Ramka 9.2, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.9, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, 12.4, 12.5, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11} **(Rysunek SPM.5, Rysunek SPM.6, Rysunek SPM.8)**

B.2.1 Jest *praktycznie pewne*, że powierzchnia lądów nadal będzie ogrzewać się szybciej niż powierzchnia oceanów (*prawdopodobnie* od 1,4 do 1,7 razy szybciej). Jest *praktycznie pewne*, że Arktyka nadal będzie ogrzewać się szybciej od średniej globalnej, z *wysokim poziomem pewności* ponad 2-krotnie szybciej. {2.3, 4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 11.1, 11.3, 11.9, 12.4, 12.5, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Ramka międzysekcyjna TS.1, TS.2.6} **(Rysunek SPM.5)**

B.2.2 Zmiany w ekstremach stają się coraz większe wraz z każdym kolejnym przyrostem globalnego ocieplenia. Przykładowo, każde dodatkowe 0,5°C globalnego ocieplenia powoduje wyraźny wzrost intensywności i częstotliwości występowania ekstremów ciepła, w tym fal upałów (*bardzo prawdopodobne*), intensywnych opadów (*wysoki poziom pewności*), a także susz rolniczych i środowiskowych³⁰ w niektórych regionach (*wysoki poziom pewności*). W części regionów dla każdego dodatkowego 0,5°C globalnego ocieplenia wystąpią zauważalne zmiany w intensywności i częstotliwości występowania susz meteorologicznych, przy czym wzrosty będą częstsze niż spadki (*średni poziom pewności*). W niektórych regionach wraz z nasilaniem globalnego ocieplenia rośnie częstotliwość i intensywność susz hydrologicznych (*średni poziom pewności*). Wraz z postępowaniem globalnego ocieplenia, nawet o 1,5°C, wzrośnie częstotliwość występowania niektórych nie mających dotąd precedensu zjawisk ekstremalnych. Dla rzadziej występujących zjawisk prognozowane są większe (procentowo) zmiany w częstotliwości ich występowania (*wysoki poziom pewności*). {8.2, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.9, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, TS.2.6} **(Rysunek SPM.5, Rysunek SPM.6)**

²⁸ Naturalna zmienność klimatu to fluktuacje klimatyczne, które występują bez oddziaływań antropogenicznych. Składa się na nią suma zmienności wewnętrznej oraz odpowiedź na zewnętrzne czynniki naturalne takie jak erupcje wulkaniczne, zmiany aktywności Słońca oraz – w dłuższych okresach – efekty orbitalne i tektonika płyt.

²⁹ Wewnętrzną zmienność w każdym pojedynczym roku szacuje się na $\pm 0,25^\circ\text{C}$ (zakres 5–95%, *wysoki poziom pewności*).

³⁰ Prognozowane zmiany susz rolniczych i środowiskowych oparto głównie na wilgotności w całym profilu glebowym. Patrz przypis 15 w celu zapoznania się z definicją oraz związkiem z opadami i ewapotranspiracją.

B.2.3 Najszybszego wzrostu temperatury najcieplejszych dni, około 1,5 do 2 razy szybszego od tempa globalnego ocieplenia, doświadczą niektóre obszary umiarkowanych szerokości geograficznych, obszary półsuche, a także obszary objęte monsunem południowoamerykańskim (*wysoki poziom pewności*). Prognozuje się, że największego wzrostu temperatury najchłodniejszych dni, około 3-krotnie szybszego od tempa globalnego ocieplenia doświadczy Arktyka (*wysoki poziom pewności*). Częstotliwość morskich fal gorąca będzie rosła wraz ze wzrostem globalnego ocieplenia (*wysoki poziom pewności*), szczególnie w tropikach i Arktyce (*średni poziom pewności*).

{Ramka 9.2, 11.1, 11.3, 11.9, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, 12.4, TS.2.4, TS.2.6} (**Rysunek SPM.6**)

B.2.4 Wraz z postępem globalnego ocieplenia opady ulewne *bardzo prawdopodobnie* staną się intensywniejsze i częstsze w większości regionów. W skali globalnej prognozuje się, że maksymalne opady dobowe nasilą się o około 7% na każdy 1°C globalnego ocieplenia (*wysoki poziom pewności*). Przewiduje się globalny wzrost odsetka silnych cyklonów tropikalnych (kategorie 4–5) oraz maksymalnych prędkości wiatru najsilniejszych cyklonów tropikalnych w miarę nasilania się globalnego ocieplenia (*wysoki poziom pewności*).

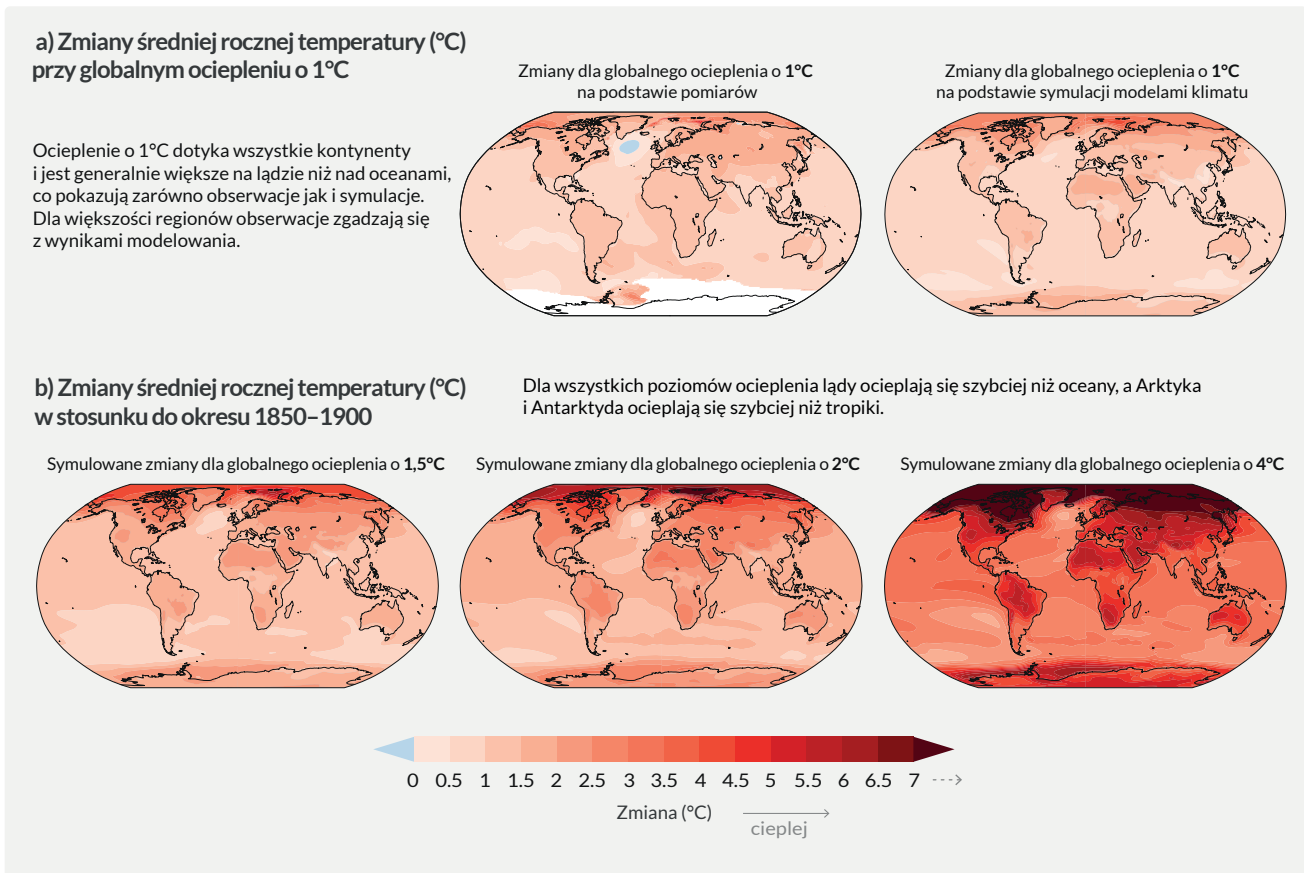
{8.2, 11.4, 11.7, 11.9, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka TS.6, TS.4.3.1} (**Rysunek SPM.5, Rysunek SPM.6**)

B.2.5 Prognozuje się, że postępujące ocieplenie jeszcze bardziej nasili rozmarzanie wieloletniej zmarzliny oraz spadek zasięgu sezonowej pokrywy śnieżnej, lodu pokrywającego lądy i arktycznego lodu morskiego (*wysoki poziom pewności*). We wszystkich pięciu przykładowych scenariuszach rozważanych w Raporcie, Arktyka *prawdopodobnie* będzie we wrześniu praktycznie wolna od lodu morskiego³¹ co najmniej raz przed 2050 r., a zdarzać się to będzie tym częściej, im większe będzie ocieplenie. Istnieje *niski poziom pewności* co do prognoz spadku zlodzenia mórz wokół Antarktydy.

{4.3, 4.5, 7.4, 8.2, 8.4, Ramka 8.2, 9.3, 9.5, 12.4, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.2.5} (**Rysunek SPM.8**)

³¹ średnia miesięczna powierzchnia lodu morskiego mniejsza niż 1 mln km², co stanowi około 15% średniej obserwowanej powierzchni lodu morskiego we wrześniu w latach 1979–1988

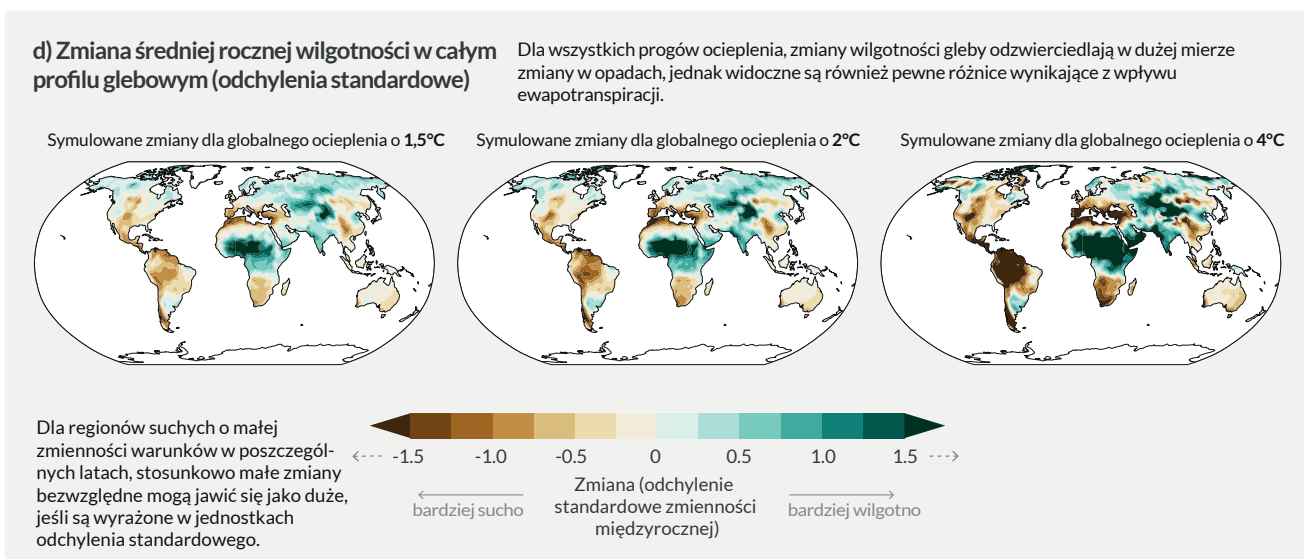
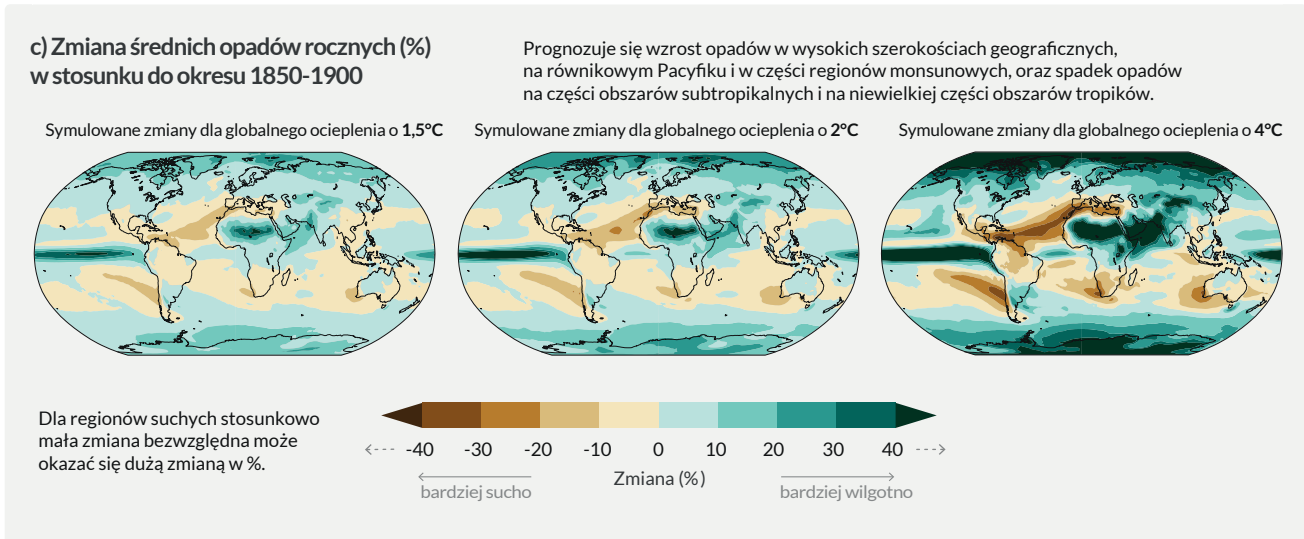
Z każdym wzrostem globalnego ocieplenia regionalne zmiany średnich temperatur, opadów i wilgotności gleby stają się coraz większe



Rysunek SPM.5: Zmiany średniej rocznej temperatury powierzchni, opadów i wilgotności gleby.

Panel a) Porównanie obserwowanych i symulowanych modelami zmian średniej rocznej temperatury powierzchni. Lewa mapa pokazuje obserwowane zmiany średniej rocznej temperatury powierzchni w okresie 1850–2020 na każdy stopień globalnego ocieplenia (°C). Lokalne (tj. w punktach siatki), obserwowane zmiany średniej rocznej temperatury powierzchni podane są na podstawie regresji liniowej względem średniej globalnej temperatury powierzchni w okresie 1850–2020. Obserwacyjne dane o temperaturze pochodzą z Berkeley Earth, zbioru danych obejmującego największą część powierzchni Ziemi i o najwyższej rozdzielczości przestrzennej. Regresję liniową zastosowano dla wszystkich lat, dla których dane dostępne są w odpowiednim punkcie siatki. Metoda regresji została zastosowana w celu uwzględnienia pełnego zakresu czasowego danych obserwacyjnych i zminimalizowania w ten sposób efektów związanych ze zmiennością wewnętrzną w punktach siatki. Kolor biały wskazuje obszary, w których zakres czasowy wynosił 100 lat lub mniej, a tym samym był zbyt krótki, aby wiarygodnie obliczyć regresję liniową. **Prawa mapa** wykorzystuje wyniki modelowania i pokazuje zmiany średniej rocznej temperatury obliczonej przez wiele modeli dla poziomu globalnego ocieplenia wynoszącego 1°C (średnia zmiana globalnej temperatury powierzchni z 20-lecia względem okresu 1850-1900). Trójkąty na końcach kolorowego paska skali wskazują wartości poza zakresem, tzn. wartości powyżej lub poniżej podanego zakresu.

Panel b) Symulowana modelami zmiana średniej rocznej temperatury (°C), panel c) zmiana opadów (%) i panel d) zmiana wilgotności w całym profilu glebowym (odchylenie standardowe zmienności międzyrocznej) dla globalnego ocieplenia o 1,5°C, 2°C i 4°C (średnia 20-letnia zmiany globalnej temperatury względem okresu 1850–1900). Symulowane zmiany odpowiadają średnim z wielomodelowych symulacji CMIP6 (w przypadku wilgotności gleby – medianie) przy określonym poziomie globalnego ocieplenia, podobnie jak w przypadku prawej mapy w panelu a).

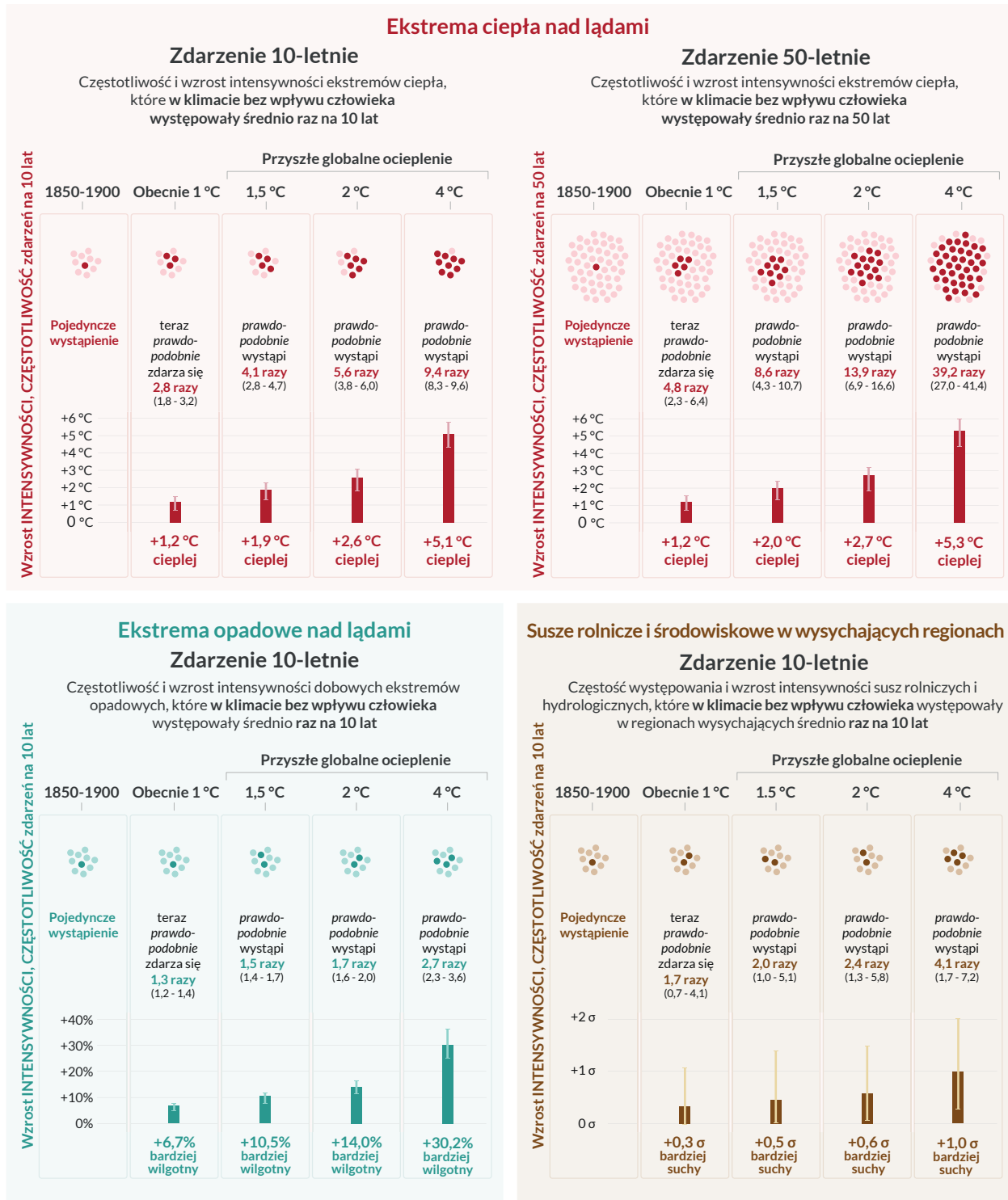


W **panelu c)** wysoka procentowa dodatnia zmiana w regionach suchych może oznaczać niewielkie zmiany bezwzględne. W **panelu d)** za jednostkę przyjęto odchylenie standardowe międzyrocznej zmienności wilgotności gleby w latach 1850–1900. Odchylenie standardowe jest powszechnie używaną miarą intensywności suszy. Prognozowany spadek średniej wilgotności gleby o jedno odchylenie standardowe odpowiada warunkom wilgotności gleby typowym dla suszy, która w okresie 1850–1900 występowała mniej więcej raz na sześć lat. W panelu d) duże zmiany w suchych regionach o małej międzyrocznej zmienności warunków mogą odpowiadać niewielkim zmianom bezwzględnym. Trójkąty na końcach kolorowych pasków skali wskazują wartości poza zakresem, tj. wartości powyżej lub poniżej zakresu skali. Ujednolicono wyniki wszystkich symulacji z przykładowych scenariuszy (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 i SSP5-8.5) w których osiągnięto zadany poziom ocieplenia. Mapy zmian średniej rocznej temperatury i opadów dla globalnego ocieplenia o 3°C są dostępne na Rysunku 4.31 i Rysunku 4.32 w części 4.6.

Odpowiadające mapom z paneli b), c) i d) mapy z kreskowaniem wskazującym poziom zgodności wyników symulacji różnymi modelami w poszczególnych komórkach siatki znajdują się odpowiednio na rysunkach 4.31, 4.32 i 11.19; jak podkreślono w Ramce międzyrozdziałowej Atlas.1, kreskowanie na poziomie komórek siatki nie niesie informacji istotnych dla większych skal przestrzennych (np. dla wyodrębnionych w AR6 regionów), gdyż dane zagregowane są mniej wrażliwe na zmienność w małej skali, co prowadzi do większej pewności wyników.

{TS.1.3.2, Rysunek TS.3, Rysunek TS.5, Rysunek 1.14, 4.6.1, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzyrozdziałowa Atlas.1}.

Intensywność i częstotliwość prognozowanych zmian w ekstremach rośnie z każdym postępowaniem globalnego ocieplenia



Rysunek SPM.6: Prognozowane zmiany intensywności i częstotliwości występowania ekstremalnie wysokich temperatur nad lądami, ekstremalnych opadów nad lądami oraz susz rolniczych i środowiskowych w regionach wysychających.

Pokazano prognozy zmian dla globalnego ocieplenia o 1°C, 1,5°C, 2°C oraz 4°C w stosunku do okresu 1850–1900⁹, reprezentującego klimat bez wpływu człowieka. Rysunek przedstawia częstotliwość występowania i wzrost intensywności ekstremalnych zdarzeń 10-letnich lub 50-letnich względem okresu odniesienia (1850–1900) przy różnych wielkościach globalnego ocieplenia.

Ekstrema ciepła to wartości dobowych temperatur maksymalnych nad lądami, które w okresie odniesienia 1850–1900 były przekraczane średnio raz na dekadę (zdarzenie 10-letnie) lub raz na 50 lat (zdarzenie 50-letnie). **Ekstrema opadowe** są zdefiniowane jako sumy dobowe opadów nad lądem, które w okresie odniesienia 1850–1900 były przekraczane średnio raz na dekadę. **Zdarzenia susz rolniczych i środowiskowych** definiuje się jako średnią roczną całkowitą wilgotność w całym profilu glebowym poniżej 10 percentyla w okresie odniesienia 1850–1900. Wymienione ekstrema dotyczą rozmiaru oczka siatki modelu [klimatycznego]. Dla ekstremów ciepła i opadów wyniki przedstawiono dla wszystkich obszarów lądowych łącznie. Dla suszy rolniczej i środowiskowej wyniki przedstawiono jedynie dla regionów wysychających, to jest takich regionów zdefiniowanych w AR6, dla których przy ociepleniu o 2°C w stosunku do okresu 1850–1900, na podstawie symulacji CMIP6 oczekiwać można nasilenia się susz rolniczych/środowiskowych co najmniej ze *średnim poziomem pewności*. Regiony te obejmują: Zachodnią Amerykę Północną (WNA), Środkową Amerykę Północną (CNA), Północną Amerykę Środkową (NCA), Południową Amerykę Środkową (SCA), Karaiby (CAR), Północną Amerykę Południową (NSA), Północno-Wschodnią Amerykę Południową (SES), Monsun Południowoamerykański (SAM), Południowo-Zachodnią Amerykę Południową (SWS), Południową Amerykę Południową (SSA), Europę Zachodnią i Środkową (WCE), Morze Śródziemne (MED), Afrykę Zachodnio-Południową (WSAF), Afrykę Wschodnio-Południową (ESAF), Madagaskar (MDG), Australię Wschodnią (EAU), Australię Południową (SAU); (Karaiby nie zostały uwzględnione w obliczeniach z powodu zbyt małej liczby komórek siatki obejmujących w całości obszar lądu). Regiony niewysychające nie wykazują ogólnie ani wzrostu ani spadku intensywności susz. Prognozy zmian susz rolniczych i środowiskowych dla niektórych regionów, w tym części Afryki i Azji, są w symulacjach CMIP6 odmienne niż w symulacjach CMIP5. Oceny prognozowanych zmian w występowaniu susz meteorologicznych i hydrologicznych przedstawiono w rozdziale 11. {11.6, 11.9}

W sekcjach „**częstotliwość**” każdy rok jest reprezentowany przez kropkę. Ciemne kropki oznaczają lata, w których został przekroczony próg ekstremum, a jasne kropki – lata, w których nie został przekroczony. Wartości odpowiadają medianom (pogrubiona czcionka) i zakresowi 5–95% w wiązce symulacji CMIP6 dla różnych scenariuszy SSP. Dla czytelności liczba kropek odpowiada zaokrąglonej wartości mediany. W sekcjach „**intensywność**” mediany i ich zakres 5–95% (również w wiązce symulacji CMIP6), pokazane są odpowiednio jako ciemne i jasne słupki. Zmiany w intensywności ekstremów ciepła i opadów zostały wyrażone odpowiednio w stopniach Celsjusza i procentach. Dla suszy rolniczej i środowiskowej zmiany intensywności zostały wyrażone w ułamkach odchylenia standardowego rocznej wilgotności gleby.

{11.1, 11.3, 11.4, 11.6, Rysunek 11.12, Rysunek 11.15, Rysunek 11.6, Rysunek 11.7, Rysunek 11.18}

B.3 Wraz z postępowaniem globalnego ocieplenia przewiduje się dalszą intensyfikację globalnego cyklu hydrologicznego, jego zmienności, wzrostu opadów monsunowych oraz wzrostu dotkliwości zjawisk związanych z nadmiarem lub niedoborem wody. {4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, Ramka 8.2, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, Atlas.3} (Rysunek SPM.5, Rysunek SPM.6)

B.3.1 Od czasu publikacji AR5 pojawiły się mocniejsze dowody na to, że globalny cykl hydrologiczny wraz ze wzrostem globalnej temperatury będzie ulegał intensyfikacji (*wysoki poziom pewności*), przy czym prognozuje się większą zmienność opadów i spływu powierzchniowego w większości regionów lądowych zarówno w poszczególnych porach roku (*wysoki poziom pewności*), jak i z roku na rok (*średni poziom pewności*). Projekcje wskazują, że w porównaniu z okresem 1995–2014 średnie roczne opady na świecie w okresie 2081–2100 będą wyższe o 0–5% w scenariuszu bardzo niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-1.9), o 1,5–8% w scenariuszu średnich emisji gazów cieplarnianych (SSP2-4.5) oraz o 1–13% w scenariuszu bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP5-8.5) (zakresy *prawdopodobne*). Dla scenariuszy SSP2-4.5, SSP3-7.0 i SSP5-8.5 prognozuje się, że opady wzrosną w wysokich szerokościach geograficznych, na obszarze Pacyfiku w okolicy równika i w części regionów monsunowych, ale zmniejszą się w części obszarów subtropikalnych oraz części obszarów w tropikach (*bardzo prawdopodobne*). Prognozuje się, że powierzchnia lądów doświadczających dostrzegalnego wzrostu lub spadku średnich opadów w poszczególnych porach roku wzrośnie (*średni poziom pewności*). W regionach z długotrwałą pokrywą śnieżną wiosenne roztopy z *wysokim stopniem pewności* będą się rozpoczynać wcześniej, przez co także najwyższe przepływy [wód w rzekach] będą notowane wcześniej, co zmniejszy przepływy letnie. {4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, Atlas.3, TS.2.6, Ramka TS.6, TS.4.3} (Rysunek SPM.5)

B.3.2 W cieplejszym klimacie zjawiska pogodowe i klimatyczne związane z nadmiarem lub niedoborem wody (w tym mokre i suche pory roku) ulegną wzmocnieniu, co będzie miało znaczenie dla powodzi i susz (*wysoki poziom pewności*), przy czym ich lokalizacja i częstotliwość zależna jest od prognozowanych zmian w regionalnej cyrkulacji atmosferycznej, w tym monsunów i szlaków niżów w umiarkowanych szerokościach geograficznych.

W scenariuszach SSP2-4.5, SSP3-7.0 oraz SSP5-8.5 zmienność opadów związana z Oscylacją Południową El Niño-La Niña [ENSO] w drugiej połowie XXI wieku *bardzo prawdopodobnie* wzrośnie. {4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, 8.5, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, TS.2.6, TS.4.2, Ramka TS.6} (Rysunek SPM.5, Rysunek SPM.6)

B.3.3 Prognozuje się globalny wzrost opadów monsunowych w średnioterminowej i dalekiej przyszłości, zwłaszcza w Azji Południowej i Południowo-Wschodniej, Azji Wschodniej i Afryce Zachodniej, z wyjątkiem najbardziej wysuniętej na zachód części Sahelu (*wysoki poziom pewności*). Według prognoz pora monsunowa w Ameryce Północnej i Południowej oraz w Afryce Zachodniej będzie zaczynać się później, a w Afryce Zachodniej będzie się też później kończyć (*średni poziom pewności*). {4.4, 4.5, 8.2, 8.3, 8.4, Ramka 8.2, Ramka TS.13}

B.3.4 W scenariuszach wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP3-7.0, SSP5-8.5) przewidywana dla umiarkowanych szerokości półkuli południowej latem intensyfikacja niżów oraz przesunięcie ich szlaków i związanych z nimi opadów na południe *prawdopodobnie* wystąpi w dalekiej przyszłości, ale w bliskiej przyszłości przeciwdziała temu odbudowa warstwy ozonowej w stratosferze (*wysoki poziom pewności*). Mamy *średni poziom pewności* w kwestii dalszego przesuwania się szlaków niżów i związanych z nimi opadów w kierunku bieguna na północnym Pacyfiku oraz *niski poziom pewności* w przypadku prognozowanych zmian szlaków niżów na północnym Atlantyku. {TS.4.2, 4.4, 4.5, 8.4, TS.2.3}

B.4 W scenariuszach, w których emisje CO₂ rosną, prognozuje się, że pochłanianie CO₂ przez oceany i ekosystemy lądowe będzie słabnąć, przez co większa część naszych emisji tego gazu pozostanie w atmosferze. {4.3, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6} (Rysunek SPM.7)

B.4.1 Choć przewiduje się, że w scenariuszach z wyższymi emisjami CO₂ oceany i ekosystemy lądowe będą w liczbach bezwzględnych pochłaniać większą ilość CO₂, niż w scenariuszach z niskimi emisjami, to pochłanianie to będzie mniej wydajne, tzn. ułamek pochłanianych emisji maleje wraz ze wzrostem skumulowanych emisji CO₂. W rezultacie przewiduje się, że większa część wyemitowanego CO₂ pozostanie w atmosferze (*wysoki poziom pewności*). {5.2, 5.4, Ramka TS.5} (Rysunek SPM.7)

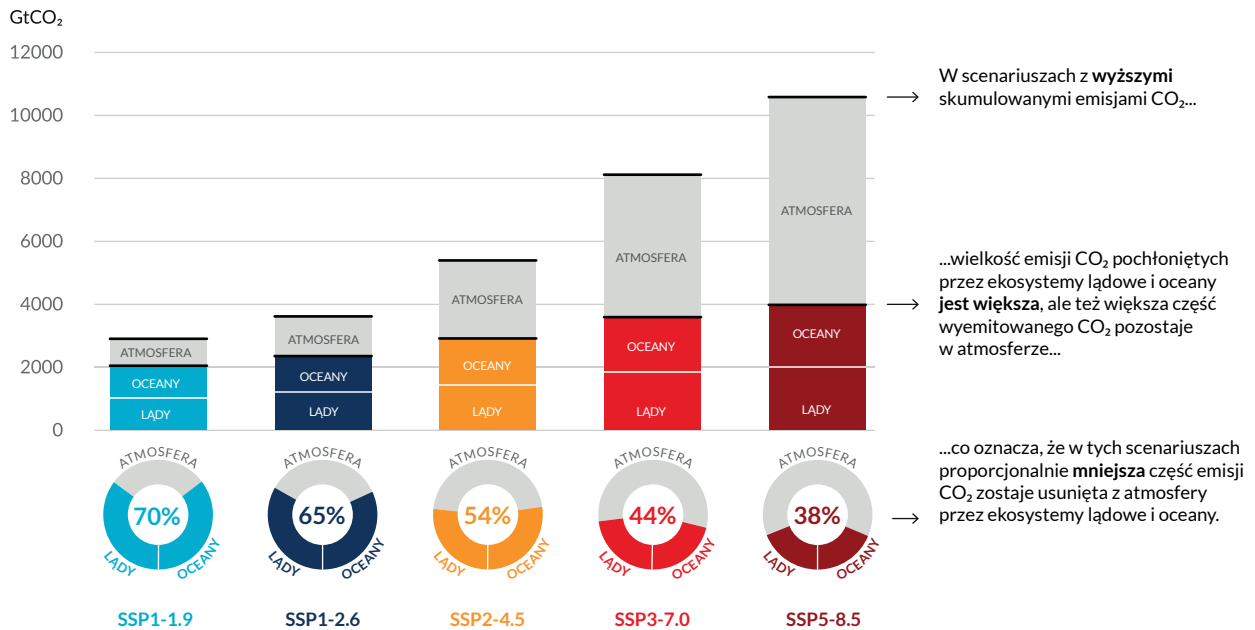
B.4.2 W scenariuszu pośrednim, w którym w tym stuleciu następuje stabilizacja stężenia CO₂ w atmosferze (SSP2-4.5), projekcje pokazują spadek tempa pochłaniania CO₂ przez lądy i oceany w drugiej połowie XXI wieku (*wysoki poziom pewności*). W scenariuszach bardzo niskich i niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-1.9, SSP1-2.6), w których stężenia CO₂ osiągają wartość maksymalną a potem w XXI wieku maleją, lądy i oceany zaczną pochłaniać mniej CO₂ w odpowiedzi na jego malejące stężenie w atmosferze (*wysoki poziom pewności*) i w scenariuszu SSP1-1.9 zamienią się w słabe źródła CO₂ netto przed 2100 r. (*średni poziom pewności*). Jest *bardzo mało prawdopodobne*, aby ekosystemy lądowe i oceany łącznie stały się źródłem CO₂ przed rokiem 2100 w przypadku scenariuszy, w których nie ma ujemnych emisji netto³² (SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5).
{4.3, 5.4, 5.5, 5.6, Ramka TS.5, TS.3.3}

B.4.3 Siła sprzężeń zwrotnych między zmianą klimatu a cyklem węglowym wzrasta i staje się mniej przewidywalna dla scenariuszy z wysokimi emisjami CO₂ (*bardzo wysoki poziom pewności*). Jednak, jak pokazują prognozy modelami klimatu, niepewność względem stężenia CO₂ w atmosferze do roku 2100 jest przede wszystkim efektem różnic między scenariuszami emisji (*wysoki poziom pewności*). Kolejne reakcje ekosystemów na ocieplenie, np. emisje CO₂ i CH₄ z terenów podmokłych, topnienie wieloletniej zmarzliny czy pożary terenów naturalnych, które nie są w pełni uwzględnione w dotychczasowych modelach, spowodują dalszy wzrost stężenia tych gazów w atmosferze (*wysoki poziom pewności*).
{5.4, Ramka TS.5, TS.3.2}

³² To prognozowane dostosowanie się rezerwuarów węgla do stabilizacji lub spadku stężenia CO₂ w atmosferze zostało uwzględnione w obliczeniach pozostałego budżetu węglowego.

Ułamek emisji CO₂ pochłaniany przez ekosystemy lądowe i ocean jest mniejszy w scenariuszach z wyższymi emisjami skumulowanymi

Skumulowane emisje CO₂ pochłonięte przez ekosystemy lądowe i oceany (kolory) oraz część pozostająca w atmosferze (szary) w pięciu przykładowych scenariuszach w okresie 1850–2100.



Rysunek SPM.7: Skumulowane antropogeniczne emisje CO₂ pochłonięte przez lądy i oceany do 2100 r. dla pięciu przykładowych scenariuszy.

Korzystając z modeli klimatycznych CMIP6 przeprowadzono symulacje dla pięciu przykładowych scenariuszy emisji (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 i SSP5-8.5) by określić, jaka część skumulowanych antropogenicznych (wynikających z działalności ludzkiej) emisji dwutlenku węgla (CO₂) zostanie wchłonięta przez ekosystemy lądowe i oceany w okresie od roku 1850 do 2100. Lądowe i oceaniczne rezerwuary węgla reagują na sumę przeszłych, obecnych i przyszłych emisji, dlatego na rysunku przedstawiono sumę emisji pochłoniętych w latach 1850–2100. W przeszłości (1850–2019) lądy i oceany pochłonęły do 1430 GtCO₂ (59% emisji).

Wykres słupkowy pokazuje przewidywaną część antropogenicznych emisji CO₂ skumulowanych w latach 1850–2100 pozostającą w atmosferze (część szara) oraz pochłoniętą przez ekosystemy lądowe i oceany (część kolorowa). **Wykres pierścieniowy** pokazuje jaka część skumulowanych antropogenicznych emisji CO₂ zostanie pochłonięta przez ekosystemy lądowe i oceany a jaka pozostanie w atmosferze w 2100 r. Wartości wyrażone w procentach wskazują proporcję skumulowanych antropogenicznych emisji CO₂ pochłoniętych łącznie przez lądy i oceany w 2100 r. Całkowite antropogeniczne emisje węgla [w przeliczeniu na węgiel pierwiastkowy – przyp. tłum.] zostały obliczone poprzez zsumowanie światowych emisji netto z użytkowania terenu pozyskanych z bazy danych scenariuszy CMIP6 i emisji z innych sektorów oszacowanych z symulacji wykonanych dla określonych stężeń CO₂ za pomocą modeli klimatu³³. Pochłanianie CO₂ przez lądy i oceany od 1850 r. obliczono na podstawie produktywności netto biomów lądowych, odejmując emisje CO₂ ze zmian sposobu użytkowania gruntów i uwzględniając przepływy CO₂ netto z oceanów.

{Ramka TS.5, Rysunek 1, 5.2.1, Tabela 5.1, 5.4.5, Rysunek 5.25}

³³ Emisje z innych sektorów oszacowano jako niezbilansowaną część pochłaniania netto CO₂ przez ekosystemy lądowe i oceany przy zadanych zmianach stężenia CO₂ w atmosferze w symulacjach CMIP6. Są to oszacowania emisji netto, w których nie wyróżniono jawnie całkowitych emisji i usuwania CO₂ z atmosfery, oba procesy są jednak uwzględnione.

B.5 Duża część zmian będących efektem przeszłych i przyszłych emisji gazów cieplarnianych jest nieodwracalna w czasie od stuleci do tysiącleci, dotyczy to zwłaszcza zmian w oceanach, lądolodach i globalnym poziomie morza. {Ramka międzyrozdziałowa 2.4, 2.3, 4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, 9.4, 9.5, 9.6, Ramka 9.4}. (Rysunek SPM.8)

B.5.1 Dotychczasowe emisje gazów cieplarnianych od 1750 roku zagwarantowały przyszłe ocieplenie się oceanów (*wysoki poziom pewności*). W pozostałej części XXI wieku *prawdopodobne* ocieplenie oceanów będzie od 2-4 razy (SSP1-2,6) do 4-8 razy (SSP5-8.5) większe niż ocieplenie w okresie 1971–2018. Wykorzystując wiele linii dowodów możemy stwierdzić, że w XXI wieku wzrosną: stratyfikacja górnych warstw oceanu (*praktycznie pewne*), zakwaszenie oceanu (*praktycznie pewne*) i odtlenienie oceanu (*wysoki poziom pewności*), w tempie zależnym od [wielkości] przyszłych emisji. Niemożliwe do odwrócenia na przestrzeni od stuleci do tysiącleci są zmiany temperatury Wszechoceanu (*bardzo wysoki poziom pewności*), stopień zakwaszenia jego głębokich warstw (*bardzo wysoki poziom pewności*) i odtlenienia (*średni poziom pewności*). {4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, TS.2.4} (Rysunek SPM.8)

B.5.2 Lodowce górskie i polarne są skazane na topnienie przez kolejne dziesięciolecia lub stulecia (*bardzo wysoki poziom pewności*). Utrata węgla z wieloletniej zmarzliny będąca skutkiem jej rozmarzania jest nieodwracalna w skali stuleci (*wysoki poziom pewności*). Dalsza utrata masy przez lądolód Grenlandii w ciągu XXI w. jest *praktycznie pewna*, a Antarktydy - *prawdopodobna*. Istnieje *wysoki poziom pewności*, że wraz ze wzrostem skumulowanych emisji wzrośnie całkowita utrata masy lądolodu Grenlandii. W przypadku scenariuszy wysokich emisji gazów cieplarnianych istnieją *ograniczone dowody* na możliwość wystąpienia mało prawdopodobnych, lecz niosących poważne konsekwencje wydarzeń³⁴ (wynikających z niestabilności lądolodów, charakteryzujących się dużym zakresem niepewności, w niektórych przypadkach związanych z punktami krytycznymi), które znacznie przyspieszyłyby tempo utraty lodu z lądolodu Antarktydy przez wiele stuleci. {4.3, 4.7, 5.4, 9.4, 9.5, Ramka 9.4, Ramka TS.1, TS.2.5}

B.5.3 Jest *praktycznie pewne*, że średni globalny poziom morza w XXI wieku będzie nadal wzrastał. W stosunku do okresu 1995–2014 *prawdopodobny* średni globalny wzrost poziomu morza do 2100 r. wyniesie 0,28-0,55 m w scenariuszu bardzo niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-1.9), 0,32-0,62 m w scenariuszu niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-2.6), 0,44-0,76 m w scenariuszu średnich emisji gazów cieplarnianych (SSP2-4.5) oraz 0,63-1,01 m w scenariuszu bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP5-8.5); do 2150 r. wyniesie 0,37-0,86 m w scenariuszu bardzo niskich emisji (SSP1-1.9), 0,46-0,99 m w scenariuszu niskich emisji (SSP1-2,6), 0,66-1,33 m w scenariuszu średnich emisji (SSP2-4.5) oraz 0,98-1,88 m w scenariuszu bardzo wysokich emisji (SSP5-8.5) (*średni poziom pewności*)³⁵. Ze względu na dużą niepewność procesów związanych z lądolodami nie można wykluczyć w scenariuszu bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP5-8.5) wzrostu średniego, globalnego poziomu morza powyżej zakresu *prawdopodobnego*, do 2 m do 2100 r. i do 5 m do 2150 r. (*niski poziom pewności*). {4.3, 9.6, Ramka 9.4, Ramka TS.4} (Rysunek SPM.8)

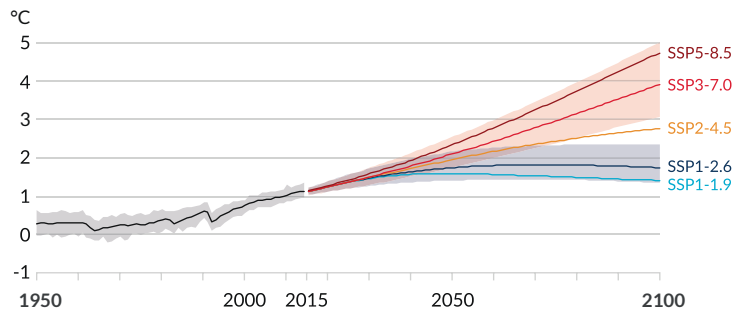
B.5.4 W dłuższym horyzoncie czasowym, w efekcie postępującego ocieplania głębin oceanicznych i topnienia lądolodów, poziom morza będzie wzrastał przez stulecia lub tysiąclecia, a następnie pozostanie na podwyższonym poziomie przez tysiące lat (*wysoki poziom pewności*). W ciągu następnych 2000 lat średni globalny poziom morza podniesie się o około 2-3 m, jeśli ocieplenie będzie nie większe niż 1,5°C, 2-6 m dla 2°C oraz 19-22 m dla 5°C, po czym będzie dalej rósł przez kolejne tysiąclecia (*niski poziom pewności*). Prognozy średniego globalnego poziomu morza na przestrzeni wielu tysiącleci są zgodne z rekonstrukcjami poziomu morza podczas przeszłych, ciepłych okresów klimatycznych: *prawdopodobnie* około 125 000 lat temu, gdy temperatury globalne były *bardzo prawdopodobnie* o 0,5-1,5°C wyższe niż w okresie 1850–1900, był on o 5-10 m wyższy niż obecnie, a około 3 mln lat temu, gdy temperatury globalne były wyższe o 2,5-4°C poziom morza *bardzo prawdopodobnie* był wyższy o 5-25 m (*średni poziom pewności*). {2.3, Ramka międzyrozdziałowa 2.4, 9.6, Ramka TS.2, Ramka TS.4, Ramka TS.9}

³⁴ Wydarzenia mało prawdopodobne, lecz niosące poważne konsekwencje to takie, których prawdopodobieństwo wystąpienia jest niskie lub mało znane (np. z powodu bardzo dużej niepewności), ale których potencjalny wpływ na społeczeństwo i ekosystemy może być wysoki. Punkt krytyczny to próg graniczny, po przekroczeniu którego system ulega zmianie, często gwałtownej i/lub nieodwracalnej. {Ramka międzyrozdziałowa 1.3, 1.4, 4.7}.

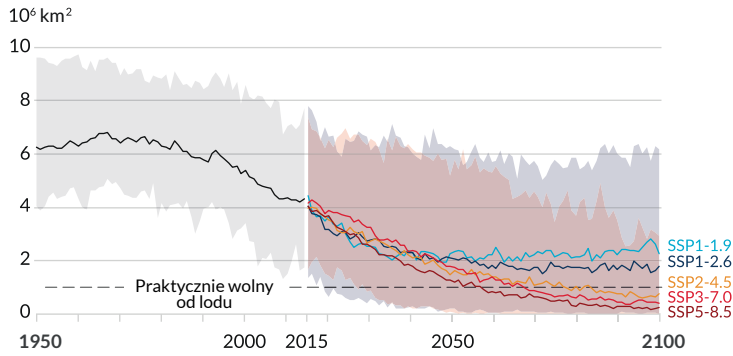
³⁵ Aby porównać z okresem odniesienia 1986–2005, użytym w AR5 i SROCC, należy do podanych szacunków wzrostu średniego globalnego poziomu morza dodać 0,03 m. Aby porównać z okresem odniesienia 1900, wykorzystanym na Rysunku SPM.8, należy dodać 0,16 m.

Działalność człowieka wpływa na wszystkie główne składniki systemu klimatycznego, z których niektóre reagują w ciągu dekad, inne zaś w ciągu stuleci

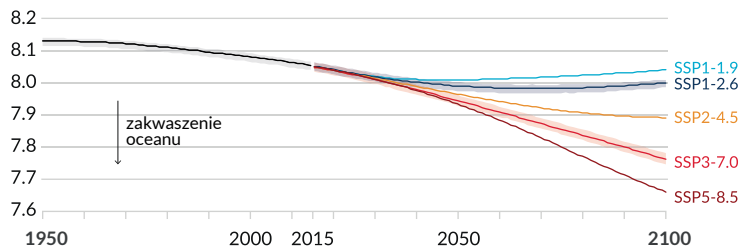
a) Zmiana globalnej temperatury powierzchni względem okresu 1850–1900



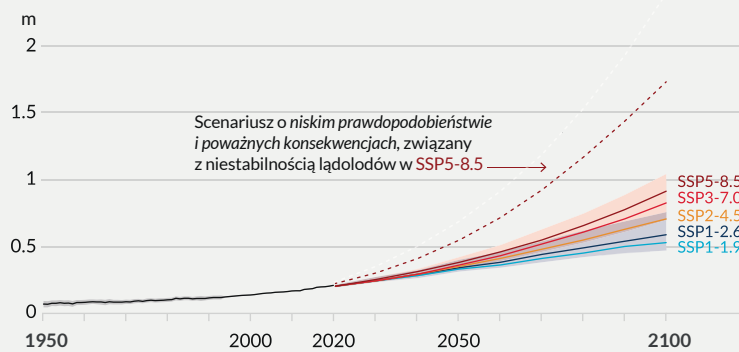
b) Powierzchnia arktycznego lodu morskiego we wrześniu



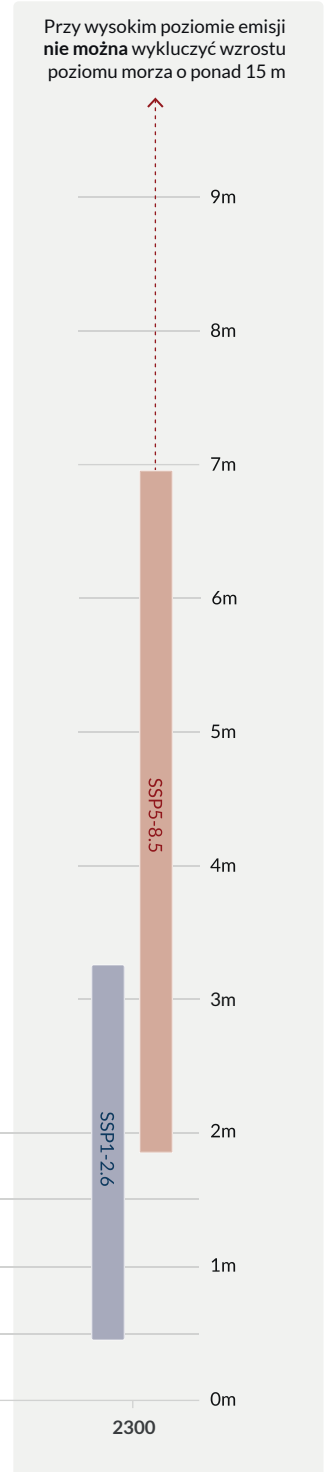
c) pH wód powierzchniowych Wszechoceanu (miara zakwaszenia oceanu)



d) Zmiana średniego globalnego poziomu morza w stosunku do roku 1900



e) Zmiana średniego globalnego poziomu morza w 2300 r. względem 1900 r.



Rysunek SPM.8: Wybrane wskaźniki globalnej zmiany klimatu w pięciu przykładowych scenariuszach wykorzystanych w niniejszym Raporcie.

Projekcje dla poszczególnych pięciu scenariuszy różnią się kolorami. Cieniowanie wskazuje zakres niepewności – więcej szczegółów odnośnie każdego z paneli znajduje się poniżej. Czarne krzywe przedstawiają symulacje przeszłości (panele a, b, c) lub obserwacje (panel d). Wartości historyczne pokazano na wszystkich wykresach jako kontekst dla prognozowanych zmian.

Panel a) Zmiany globalnej temperatury powierzchni w °C względem okresu 1850–1900. Wartości te uzyskano łącząc wyniki symulacji modelami CMIP6, w których uwzględniono więzy narzucone przez uwzględnienie danych obserwacyjnych w symulacjach przeszłego klimatu oraz więzy narzucone przez najnowsze oszacowanie równowagowej czułości klimatu (patrz Ramka SPM.1). Zmiany w stosunku do okresu 1850–1900 z uśrednianiem po okresie 20 lat obliczono dodając 0,85°C (obserwowany wzrost temperatury powierzchni Ziemi od okresu 1850–1900 do okresu 1995–2014) do zmian modelowanych względem okresu 1995–2014. Zakresy *bardzo prawdopodobne* pokazane są dla scenariuszy SSP1-2.6 i SSP3-7.0. [odpowiednio kolory czerwony i niebieski – przyp. tłum.]

Panel b) Powierzchnia lodu morskiego w Arktyce we wrześniu w 10⁶ km² na podstawie symulacji modelami CMIP6. Zakresy *bardzo prawdopodobne* pokazane są dla SSP1-2.6 i SSP3-7.0. Dla scenariuszy średnich i wysokich emisji gazów cieplarnianych prognozuje się, że Arktyka stanie się praktycznie wolna od lodu w połowie stulecia.

Panel c) pH wód powierzchniowych Wszechoceanu (miara zakwaszenia oceanu) na podstawie symulacji modelami CMIP6. Zakresy *bardzo prawdopodobne* pokazano dla scenariuszy SSP1-2.6 i SSP3-7.0.

Panel d) Zmiana średniego globalnego poziomu morza w metrach w stosunku do 1900 r. Zmiany historyczne na podstawie obserwacji (z pływomierzy przed 1992 rokiem i altimetrów satelitarnych w późniejszym okresie), zmiany przyszłe oszacowano wykorzystując symulacje CMIP6, modele lądolodów i lodowców z uwzględnieniem więzy obserwacyjnych. *Prawdopodobne* zakresy przedstawiono dla scenariuszy SSP1-2.6 i SSP3-7.0. W przypadku zmian poziomu morza oszacowano jedynie zakresy *prawdopodobne*, ze względu na trudność uwzględnienia procesów o dużym stopniu niepewności. Krzywa przerywana wskazuje potencjalny wpływ tych niepewnych zdarzeń. Przedstawia ona 83 percentyl projekcji w scenariuszu SSP5-8.5 uwzględniającym mało prawdopodobne, ale niemożliwe do wykluczenia zdarzenia o dużych konsekwencjach związane z lądolodami; z powodu *niskiego poziomu pewności* prognoz tych procesów, krzywa ta nie stanowi części zakresu *prawdopodobnego*. Zmiany względem 1900 r. obliczono, dodając 0,158 m (obserwowany globalny wzrost średniego poziomu morza od 1900 r. do okresu 1995–2014 r.) do symulowanych i obserwowanych zmian względem okresu 1995–2014.

Panel e): Zmiana średniego globalnego poziomu morza w 2300 r. w metrach w stosunku do roku 1900. Prognozy dla roku 2300 pokazano jedynie dla scenariuszy SSP1-2.6 i SSP5-8.5, ponieważ dla pozostałych scenariuszy istnieje zbyt mało symulacji wykraczających poza rok 2100, aby uzyskać wiarygodne wyniki. Zakresy 17–83 percentyla są zacieniowane. Przerywana strzałka pokazuje 83 percentyl projekcji dla scenariusza SSP5-8.5, w których uwzględniono mało prawdopodobne, ale niemożliwe do wykluczenia, wydarzenia o poważnych konsekwencjach związane z lądolodami.

Panele b) i c) wykorzystują pojedyncze symulacje każdym z modeli, obciążone są więc elementem wewnętrznej zmienności. Panele a), d) i e) wykorzystują uśrednienia długookresowe, zatem element wewnętrznej zmienności jest niewielki.

{Rysunek TS.8, Rysunek TS.11, Ramka TS.4 Rysunek 1, 4.3, 9.6, Rysunek 4.2, Rysunek 4.8, Rysunek 4.11, Rysunek 9.27}

C. Informacje o klimacie na potrzeby oceny ryzyka i adaptacji regionalnej

Informacje o fizycznych aspektach klimatu wskazują, jak system klimatyczny reaguje na wzajemne interakcje między działalnością człowieka, czynnikami naturalnymi i zmiennością wewnętrzną. Wiedza na temat odpowiedzi klimatu i zakresu możliwych skutków, w tym tych o niskim prawdopodobieństwie wystąpienia lecz poważnych konsekwencjach, jest podstawą do działań związanych z klimatem – oceniania zagrożeń klimatycznych i planowania adaptacji do zmiany klimatu. Informacje na temat fizycznych aspektów klimatu w skalach globalnej, regionalnej i lokalnej opracowano wykorzystując różnorodne źródła, w tym dane obserwacyjne, wyniki symulacji modelami klimatu i odpowiednio dopasowane narzędzia diagnostyczne.

C.1 Czynniki naturalne i zmienność wewnętrzna będą modulować zmiany wywołane działalnością ludzką, zwłaszcza w skali regionalnej i w bliskiej przyszłości, lecz będą miały niewielki wpływ na globalne ocieplenie w skali stuleci. Te modulacje trzeba uwzględnić, aby planowanie objęło pełen zakres możliwych zmian.

{1.4, 2.2, 3.3, Ramka międzyrozdziałowa 3.1, 4.4, 4.6, Ramka międzyrozdziałowa 4.1, 4.4, Ramka 7.2, 8.3, 8.5, 9.2, 10.3, 10.4, 10.6, 11.3, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Ramka międzyrozdziałowa Atlas.2, Atlas.11}

C.1.1 Historyczne dane o temperaturze powierzchni Ziemi wskazują, że zmienność dekadowa zaciemniała sygnał długookresowych zmian powodowanych działalnością człowieka; w przyszłości będzie podobnie (*bardzo wysoki poziom pewności*). Przykładowo, wewnętrzna zmienność dekadowa oraz zmiany w wymuszeniach słonecznych i wulkanicznych częściowo zamaskowały w latach 1998–2012 globalne ocieplenie powierzchni Ziemi wywołane działalnością ludzką z wyraźnymi regionalnymi i sezonowymi wzorcami (*wysoki poziom pewności*). Jednak w okresie tym ocieplenie systemu klimatycznego postępowało nadal, na co wskazywało ciągłe ocieplanie się oceanu światowego (*bardzo wysoki poziom pewności*) i wzrost ekstremów ciepła nad lądami (*średni poziom pewności*).

{1.4, 3.3, Ramka międzyrozdziałowa 3.1, 4.4, Ramka 7.2, 9.2, 11.3, Ramka międzysekcyjna TS.1} (**Rysunek SPM.1**)

C.1.2 Prognozowane antropogeniczne zmiany klimatu i czynników zagrożeń klimatycznych (CID)³⁶, w tym ekstremów, będą wzmacniane lub osłabiane przez zmienność wewnętrzną³⁷ (*wysoki poziom pewności*). W każdej konkretnej lokalizacji może wystąpić krótkoterminowe ochłodzenie w stosunku do obecnego klimatu i nie będzie to w sprzeczności ze spowodowanym działalnością ludzką wzrostem temperatury powierzchni Ziemi (*wysoki poziom pewności*).

{1.4, 4.4, 4.6, 10.4, 11.3, 12.5, Atlas.5, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.2}

C.1.3 Wewnętrzna zmienność klimatu była w dużej mierze odpowiedzialna za wzmacnianie i osłabianie spowodowanych ludzką działalnością zmian średnich opadów obserwowanych nad wieloma regionami lądów na przestrzeni dekad (*wysoki poziom pewności*). W skali globalnej i regionalnej, zmiany w monsunach w bliskiej przyszłości będą zdominowane przez wpływ zmienności wewnętrznej (*średni poziom pewności*). Poza wpływem zmienności wewnętrznej, prognozy zmiany globalnych i regionalnych opadów w bliskiej przyszłości są dodatkowo obciążone niepewnością ze względu na niepewność modelowania i niepewność związaną z wpływem aerozoli, zarówno naturalnych jak i antropogenicznych (*średni poziom pewności*).

{1.4, 4.4, 8.3, 8.5, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, Atlas.4, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Ramka międzyrozdziałowa Atlas.2, Atlas.11, TS.4.2, Ramka TS.6, Ramka TS.13}

³⁶ Czynniki zagrożeń klimatycznych (CID) to fizyczne cechy systemu klimatycznego (np. średnie, zdarzenia, ekstrema), które oddziałują na społeczeństwo lub ekosystemy. W zależności od elastyczności danego systemu, CID i zmiany w nich mogą wpływać szkodliwie, korzystnie, neutralnie lub w sposób mieszany na szereg oddziałujących wzajemnie elementów systemu lub regionów. CID można podzielić na te związane z wysokimi i niskimi temperaturami, nadmiarem i niedoborami wody, wiatrem, śniegiem i lodem, wybrzeżami i otwartym oceanem.

³⁷ Najważniejsze zjawiska związane z wewnętrzną zmiennością klimatu obejmują Oscylację Południową El Niño-La Niña, zmienność dekadową Pacyfiku i zmienność wielodekadową Atlantyku, wywierające wpływ na konkretne regiony.

C.1.4 Dowody paleoklimatyczne i historyczne pozwalają sądzić, że w XXI wieku *prawdopodobnie* dojdzie do co najmniej jednej dużej gwałtownej erupcji wulkanicznej³⁸. Obniżyłaby ona globalną temperaturę powierzchni i opady, zwłaszcza na lądach, na okres od jednego do trzech lat, zmieniłaby globalną cyrkulację monsunową, zmodyfikowałaby opady ekstremalne i zmieniłaby wiele CID (*średni poziom pewności*). Jeśli taka erupcja miałaby miejsce, zamaskowałaby częściowo i na pewien czas antropogeniczną zmianę klimatu. {4.4, Ramka międzyrozdziałowa 4.1, 2.2, 8.5, TS.2.1}

C.2 **Prognozuje się, że wraz z dalszym globalnym ociepleniem, wszystkie regiony będą w coraz większym stopniu doświadczały równoczesnych i różnorodnych zmian czynników zagrożeń klimatycznych. Zmiany niektórych z tych czynników byłyby bardziej powszechne przy ociepleniu o 2°C niż przy ociepleniu o 1,5°C, a jeszcze bardziej powszechne i/lub wyraźne przy wyższych poziomach ocieplenia.**

{8.2, 9.3, 9.5, 9.6, Ramka 10.3, Ramka 11.3, Ramka 11.4, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.9, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzyrozdziałowa 12.1} (**Tabela SPM.1, Rysunek SPM.9**)

C.2.1 Prognozuje się, że we wszystkich regionach³⁹ nastąpi dalszy wzrost CID związanych z wysokimi temperaturami, a spadek tych związanych z niskimi (*wysoki poziom pewności*). Prognozuje się dalsze zmniejszanie się obszaru wieloletniej zmarzliny, pokrywy śnieżnej, lodowców i lądolodów, lodu na jeziorach i arktycznego lodu morskiego (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰. Przy globalnym ociepleniu o 2°C lub wyższym zmiany te będą większe niż przy ociepleniu o 1,5°C (*wysoki poziom pewności*). Przykładowo progi wysokich temperatur mające znaczenie dla rolnictwa i zdrowia ludzi przy wyższych wartościach globalnego ocieplenia będą przekraczane częściej (*wysoki poziom pewności*).

{9.3, 9.5, 11.3, 11.9, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzyrozdziałowa 12.1} (**Tabela SPM.1, Rysunek SPM.9**)

C.2.2 Globalne ocieplenie o 1,5°C spowoduje, że intensywne opady i związane z nimi powodzie nasilą się i będą występować częściej w większości regionów Afryki i Azji (*wysoki poziom pewności*), Ameryki Północnej (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰ i Europy (*średni poziom pewności*). Ponadto w kilku regionach na wszystkich kontynentach z wyjątkiem Azji prognozuje się częstsze i/lub bardziej dotkliwe susze rolnicze i środowiskowe niż w okresie 1850-1900 (*średni poziom pewności*). W kilku regionach prognozuje się też nasilenie susz meteorologicznych (*średni poziom pewności*). W niewielkiej liczbie regionów prognozuje się wzrost lub spadek średnich opadów (*średni poziom pewności*).

{11.4, 11.5, 11.6, 11.9, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3} (**Tabela SPM.1**)

³⁸ Na podstawie rekonstrukcji obejmujących 2500 lat można stwierdzić, że erupcje obniżające wymuszenie radiacyjne o więcej niż -1 W/m^2 występują średnio dwa razy na stulecie.

³⁹ Pojęcie „regiony” odnosi się tutaj do regionów referencyjnych AR6 WGI wykorzystanych w niniejszym sprawozdaniu w celu podsumowania informacji dotyczących obszarów subkontynentalnych i oceanicznych. Zmiany są porównywane ze średnimi z ostatnich 20-40 lat, chyba że określono inaczej. {1.4, 12.4, Atlas.1, Atlas interaktywny}.

⁴⁰ Konkretny poziom pewności lub prawdopodobieństwa zależy od rozpatrywanego regionu. Szczegóły można znaleźć w Podsumowaniu Technicznym oraz w głównej części Raportu.

C.2.3 Dla globalnego ocieplenia o 2°C i więcej poziom pewności co tego, że nasilą się susze oraz intensywne i średnie opady jest wyższy niż przy ociepleniu o 1,5°C. Silne opady i związane z nimi powodzie będą według prognoz bardziej intensywne i częstsze na wyspach Pacyfiku oraz w wielu regionach Ameryki Północnej i Europy (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰. Podobne zmiany wystąpią także w niektórych regionach Australazji oraz Ameryki Środkowej i Południowej (*średni poziom pewności*). Prognozuje się, że w kilku regionach w Afryce, Ameryce Południowej i Europie nastąpi wzrost częstotliwości i/lub intensywności susz rolniczych i środowiskowych (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰; podobne wzrosty prognozuje się również dla Australazji, Ameryki Środkowej i Północnej oraz Karaibów (*średni poziom pewności*). Przewiduje się że niewielka liczba regionów Afryki, Australazji, Europy i Ameryki Północnej zostanie dotknięta wzrostem liczby susz hydrologicznych, a kilka regionów zostanie dotkniętych wzrostem lub spadkiem liczby susz meteorologicznych, przy czym więcej regionów odnotuje wzrost (*średni poziom pewności*). Prognozuje się, że średnie opady wzrosną we wszystkich regionach polarnych, północnych regionach Europy i Ameryki Północnej, w większości regionów Azji i dwóch regionach Ameryki Południowej (*wysoki poziom pewności*).

{11.4, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.4.3, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, Ramka międzyrozdziałowa 12.1}. (**Tabela SPM.1, Rysunek SPM.5, Rysunek SPM.6, Rysunek SPM.9**)

C.2.4 Prognozuje się, że przy globalnym ociepleniu o 2°C i większym zmiany wystąpią w większej liczbie CID i w większej liczbie regionów niż przy ociepleniu o 1,5°C (*wysoki poziom pewności*). Zależnie od regionu zmiany obejmują intensyfikację cyklonów tropikalnych i/lub niżów pozatropikalnych (*średni poziom pewności*), wzrost liczby powodzi rzecznych (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰, spadek średnich opadów i nasilenie pustynnienia (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰ a także nasilenie pogody sprzyjającej pożarom (*poziom pewności średni do wysokiego*)⁴⁰. Dla większości regionów istnieje *niski poziom pewności* odnośnie potencjalnych przyszłych zmian w innych CID, takich jak grad, gołoledź, gwałtowne burze, burze pyłowe, obfite opady śniegu i osunięcia ziemi.

{11.7, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.10, TS.4.3.1, TS.4.3.2, TS.5, Ramka międzyrozdziałowa, 11.1, Ramka międzyrozdziałowa 12.1} (**Tabela SPM.1, Rysunek SPM.9**)

C.2.5 Jest *bardzo prawdopodobne do praktycznie pewnego*⁴⁰, że przez cały XXI wiek, z wyjątkiem kilku regionów o znacznym tempie geologicznego wznoszenia się lądu, średni i lokalny poziom morza będzie rósł. Mniej więcej dla dwóch trzecich światowej linii brzegowej prognozuje się, że regionalny względny wzrost poziomu zmieści się w granicach $\pm 20\%$ średniego wzrostu globalnego (*średni poziom pewności*). Prognozuje się, że ze względu na podnoszenie się względnego poziomu morza, wezbrania ekstremalne występujące w niedawnej przeszłości raz na sto lat, będą do roku 2100 występować co najmniej raz do roku w ponad połowie lokalizacji wszystkich pływomierzy (*wysoki poziom pewności*). Względne podnoszenie się poziomu morza przyczynia się do zwiększenia częstotliwości i dotkliwości powodzi przybrzeżnych na nisko położonych obszarach oraz do erozji większości piaszczystych wybrzeży (*wysoki poziom pewności*).

{9.6, 12.4, 12.5, Ramka TS.4, TS.4.3, Ramka międzysekcyjna 12.1} (**Rysunek SPM.9**)

C.2.6 W miastach następuje lokalne nasilenie ocieplenia spowodowanego działalnością człowieka, a dalsza urbanizacja, wraz z częstszym występowaniem ekstremalnie wysokich temperatur, wzmocni dotkliwość fal upałów (*bardzo wysoki poziom pewności*). Urbanizacja powoduje również wzrost średnich i intensywnych opadów nad miastami i/lub na terenach położonych po zawiętrznej od nich (*średni poziom pewności*) oraz będącego ich skutkiem spływu powierzchniowego (*wysoki poziom pewności*). W miastach nadmorskich kombinacja częstszych zjawisk ekstremalnych związanych z poziomem morza (jego wzrostu i wezbrań sztormowych) oraz ekstremalnych opadów deszczu/poziomu wody w rzekach zwiększy prawdopodobieństwo występowania powodzi (*wysoki poziom pewności*).

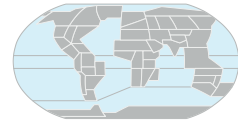
{8.2, Ramka 10.3, 11.3, 12.4, Ramka TS.14}

C.2.7 Przewiduje się, że wraz z postępowaniem globalnego ocieplenia w wielu regionach wzrośnie prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń złożonych (*wysoki poziom pewności*)¹⁸. W szczególności *prawdopodobnie* częstsze staną się jednoczesne fale upałów i susze. W wielu miejscach, w tym na obszarach produkcji roślinnej, równoczesne występowanie ekstremów stanie się przy wzroście temperatury o 2°C i więcej częstsze niż przy globalnym ociepleniu o 1,5°C (*wysoki poziom pewności*).

{11.8, Ramka 11.3, Ramka 11.4, 12.3, 12.4, TS.4.3, Ramka międzyrozdziałowa 12.1} (**Tabela SPM.1**)

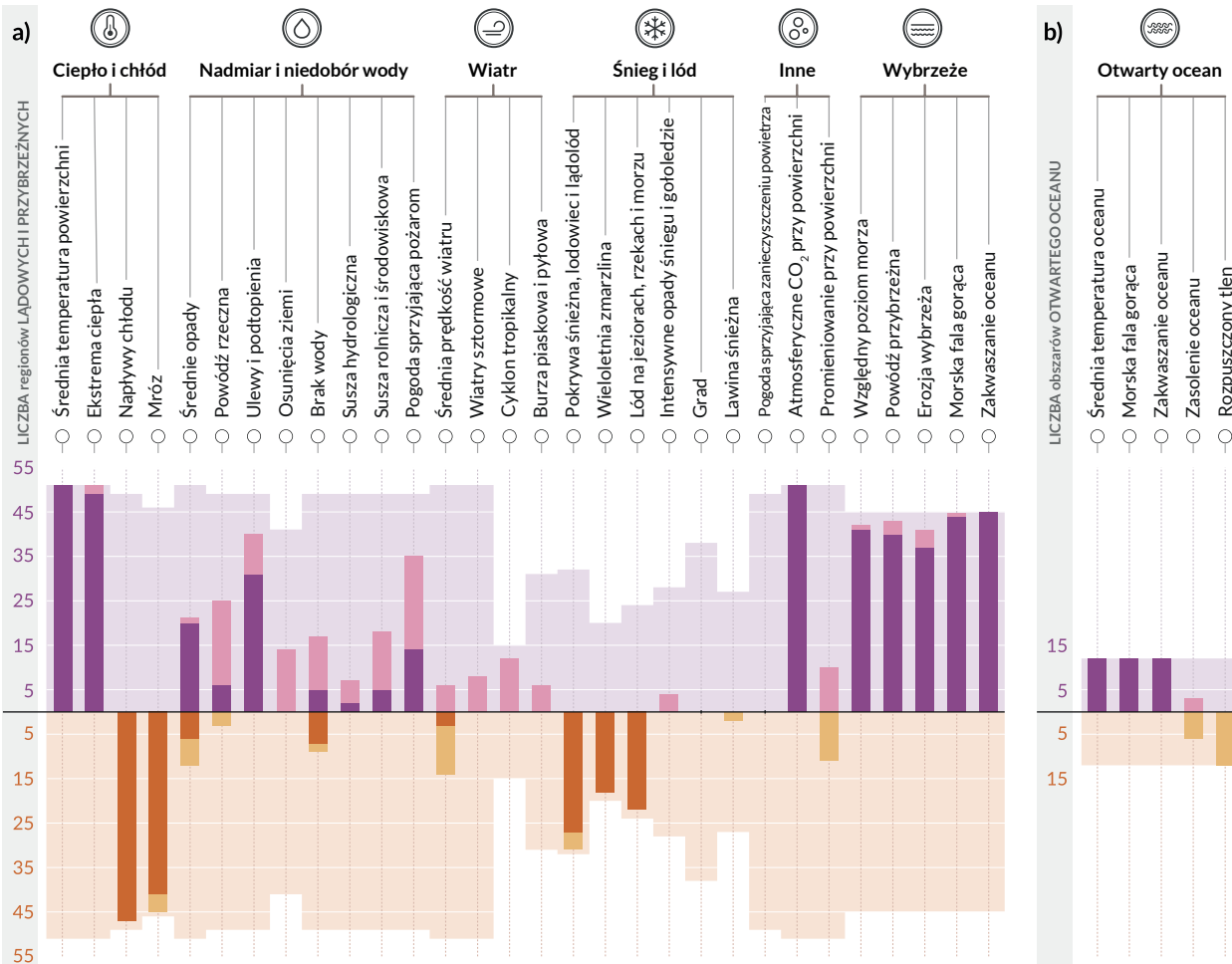
Przewiduje się zmiany w wielu czynnikach zagrożeń klimatycznych we wszystkich regionach świata

Czynniki zagrożeń klimatycznych (CID) to stany fizyczne systemu klimatycznego (np. średnie, zdarzenia, ekstrema), które wpływają na społeczeństwo lub ekosystemy. W zależności od elastyczności danego systemu, CID i zmiany w nich mogą oddziaływać szkodliwie, korzystnie, neutralnie lub w sposób mieszany na oddziałujące ze sobą elementy systemu [klimatycznego] lub regiony. Na ilustracji CID pogrupowano w siedem kategorii zebranych pod ikonami. Według projekcji wszystkie regiony doświadczą zmian w co najmniej 5 CID. Niemal wszystkie (96%) doświadczą zmian w co najmniej 10 CID, a połowa w co najmniej 15 CID. Dla wielu CID rozkłady geograficzne ich zmian są różne, skutkiem czego przewiduje się, że każdy region doświadczy specyficznego zestawu zmian CID. Każdy słupek na wykresie pokazuje zestaw zmian specyficznych dla regionów, którym można bliżej przyjrzeć się w interaktywnym atlasie WGI.



interactive-atlas.ipcc.ch

Liczba regionów lądowych i przybrzeżnych (a) oraz obszarów otwartego oceanu (b), w których prognozuje się **wzrost** lub **spadek** intensywności poszczególnych czynników zagrożeń klimatycznych, ciemny odcień oznacza **wysoki poziom pewności**, jasny – **średni poziom pewności**



LEGENDA WYKRESU SŁUPKOWEGO

- Regiony ze **wzrostem, wysoki poziom pewności**
- Regiony ze **wzrostem, średni poziom pewności**
- Regiony ze **spadkiem, wysoki poziom pewności**
- Regiony ze **spadkiem, średni poziom pewności**

LEGENDA „TŁA” W JAŚNIEJSZYM ODCIENIU

Wysokość jaśniejszego, cieniowanego „tła” za każdym słupkiem pokazuje maksymalną liczbę regionów, do których odnosi się każdy CID. Tło znajduje się po obu stronach osi X, wskazując maksymalną możliwą liczbę regionów, dla których intensywność CID rośnie (nad osią X) albo maleje (pod osią X).

OCENA PRZYSZYŁYCH ZMIAN

Zmiany odnoszą się do 20-30 letniego okresu z połową przypadającą w okolicy roku 2050 i/lub okresu cieplejszego o 2°C w stosunku do okresu podobnej długości w latach 1960-2014 lub 1850-1900.

Rysunek SPM.9: Podsumowanie liczby regionów określonych w AR6 WGI, w których prognozowane są zmiany czynników zagrożeń klimatycznych.

Przedstawiono w sumie 35 czynników zagrożeń klimatycznych (CID) pogrupowanych w siedem kategorii: ciepło i chłód, nadmiar i niedobór wody, wiatr, śnieg i lód, wybrzeże, otwarty ocean i inne. Słupki na wykresie przedstawia liczbę regionów z AR6 WGI, dla których prognozuje się zmianę danego czynnika. **Kolory** oznaczają kierunek zmiany i poziom pewności zmiany: fioletowy oznacza wzrost, a brązowy spadek; ciemniejsze i jaśniejsze odcienie odnoszą się odpowiednio do *wysokiego* i *średniego poziomu pewności*. Tło w jaśniejszym kolorze wskazuje maksymalną liczbę regionów, których dany CID dotyczy w jakimś stopniu.

Panel a) przedstawia 30 CID odnoszących się do **regionów lądowych i nadmorskich** natomiast **panel b)** przedstawia 5 CID istotnych dla **obszarów otwartego oceanu**. Morskie fale upałów i zakwaszenie oceanów w regionach przybrzeżnych oceniono w panelu a), natomiast w otwartych obszarach oceanu w panelu b). Zmiany odnoszą się do 20-30 letniego okresu z połową przypadającą w okolicy roku 2050 i/lub okresu cieplejszego o 2°C w stosunku do okresu podobnej długości w latach 1960–2014, z wyjątkiem suszy hydrologicznej oraz susz rolniczych i środowiskowych, dla których jest to okres 1850–1900. Regiony i obszary zdefiniowano w Atlas. 1 i w atlasie interaktywnym (*interactive-atlas.ipcc.ch*).

{Tabela TS.5, Rysunek TS.22, Rysunek TS.25, 11.9, 12.2, 12.4, Atlas.1}. **(Tabela SPM.1)**

C.3 Oceniając ryzyko, nie można pomijać ryzyka sytuacji o niskim prawdopodobieństwie wystąpienia, takich jak rozpad lodolodów, gwałtowne zmiany cyrkulacji oceanicznej, współwystępowanie niektórych zdarzeń ekstremalnych oraz wzrostu temperatury znacznie przekraczającego zakres *bardzo prawdopodobnego* oszacowania przyszłego ocieplenia.
{1.4, Ramka międzyrozdziałowa 1.3, Ramka międzyrozdziałowa 4.1, 4.3, 4.4, 4.8, 8.6, 9.2, Ramka 9.4, Ramka 11.2, 11.8, Ramka międzyrozdziałowa 12.1}. **(Tabela SPM.1)**

C.3.1 Jeśli globalne ocieplenie wykróczy poza zakres oszacowany jako *bardzo prawdopodobny* dla danego scenariusza emisji gazów cieplarnianych (także dla scenariuszy niskich emisji gazów cieplarnianych), wtedy globalne i regionalne zmiany wielu aspektów systemu klimatycznego, takie jak opady w regionach i inne CID, również wykrócą poza zakresy oszacowane dla nich jako *bardzo prawdopodobne* (*wysoki poziom pewności*). Takie mało prawdopodobne konsekwencje dużego ocieplenia wiążą się potencjalnie z bardzo dużymi skutkami, takimi jak silniejsze oraz częstsze fale upałów, intensywne opady czy inne zagrożenia dla środowiska naturalnego i systemów antropogenicznych; zwłaszcza dla scenariuszy wysokich emisji gazów cieplarnianych.

{Ramka międzyrozdziałowa 1.3, 4.3, 4.4, 4.8, Ramka 9.4, Ramka 11.2, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, TS.1.4, Ramka TS.3, Ramka TS.4} **(Tabela SPM.1)**

C.3.2 Następstwa o niskim prawdopodobieństwie i znaczącym wpływie³⁴ mogą wystąpić w skalach globalnej i regionalnej nawet w przypadku globalnego ocieplenia w zakresie *bardzo prawdopodobnym* dla danego scenariusza emisji gazów cieplarnianych. Szansa wystąpienia sytuacji o niskim prawdopodobieństwie i poważnych następstwach rośnie wraz ze wzrostem globalnego ocieplenia (*wysoki poziom pewności*). Gwałtowna reakcja systemu klimatycznego i przekroczenie jego punktów krytycznych, takich jak znaczne nasilenie topnienia lodolodu Antarktydy czy wymieranie lasów nie mogą zostać wykluczone (*wysoki poziom pewności*).

{1.4, 4.3, 4.4, 4.8, 5.4, 8.6, Ramka 9.4, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, TS.1.4, TS.2.5, Ramka TS.3, Ramka TS.4, Ramka TS.9} **(Tabela SPM.1)**

C.3.3 Wraz z postępowaniem globalnego ocieplenia łączne pojawianie się niektórych zjawisk ekstremalnych¹⁸, mało prawdopodobnych w przeszłym i obecnym klimacie, stanie się częstsze; wyższe będzie też prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń o większej intensywności/długości trwania i/lub większym zasięgu niż notowane wcześniej w obserwacjach (*wysoki poziom pewności*).

{11.8, Ramka 11.2, Ramka międzyrozdziałowa 12.1, Ramka TS.3, Ramka TS.9}

C.3.4 We wszystkich scenariuszach emisji Atlantyka Południkowa Cyrkulacja Termohalinowa (AMOC) *bardzo prawdopodobnie* osłabnie w XXI wieku. O ile istnieje *wysoki poziom pewności* odnośnie jej osłabnięcia w XXI wieku, to istnieje jedynie *niski poziom pewności* co do jego skali. Istnieje *średni poziom pewności*, że nie dojdzie do jej gwałtownego zahamowania przed 2100 rokiem. Gdyby do tego doszło, to *bardzo prawdopodobnie* wywołałoby to gwałtowne zmiany w regionalnych wzorcach pogodowych i cyklu hydrologicznym, takie jak przesunięcie pasa opadów tropikalnych na południe, osłabienie monsunów afrykańskich i azjatyckich oraz wzmocnienie [monsunów] na półkuli południowej i wysuszenie Europy. {4.3, 8.6, 9.2, TS2.4, Ramka TS.3}

C.3.5 Nieprzewidywalne i rzadkie zjawiska naturalne nie mające związku z wpływem człowieka na klimat mogą przynieść konsekwencje o niskim prawdopodobieństwie wystąpienia i poważnych skutkach. Na przykład w przeszłości doszło do serii dużych, gwałtownych erupcji wulkanicznych na przestrzeni kilkudziesięciu lat, co spowodowało znaczne, trwające dekady, globalne i regionalne perturbacje klimatyczne. Nie można wykluczyć takich zdarzeń w przyszłości, lecz ze względu na ich nieodłączną nieprzewidywalność nie zostały one uwzględnione w zestawie przykładowych scenariuszy, wykorzystywanych w niniejszym Raporcie. {2.2, Ramka międzyrozdziałowa 4.1, Ramka TS.3} (**Ramka SPM.1**)

D. Ograniczanie przyszłej zmiany klimatu

Od czasu publikacji AR5 oszacowania pozostałego budżetu węglowego zostały udoskonalone dzięki nowej metodyce zaprezentowanej po raz pierwszy w SR1.5, nowym dowodom oraz połączeniu wyników z wielu źródeł. W scenariuszach ujęto szeroki zakres możliwych przyszłych działań na rzecz ograniczenia zanieczyszczenia powietrza, aby ocenić ich wpływ na projekcje stanu klimatu i poziomu zanieczyszczenia powietrza. Nowym osiągnięciem jest możliwość ustalenia, kiedy odpowiedź klimatu na redukcję emisji stałaby się odróżnialna od naturalnej zmienności klimatu, w tym zmienności wewnętrznej i odpowiedzi na czynniki naturalne.

D.1 Z perspektywy fizyki, ograniczenie globalnego ocieplenia powodowanego działalnością ludzką do określonego poziomu, wymaga ograniczenia skumulowanych emisji CO₂, osiągnięcia co najmniej zerowego poziomu emisji CO₂ netto, równoległe ze znacznym ograniczeniem emisji innych gazów cieplarnianych. Silna, szybka i trwała redukcja emisji CH₄ zmniejszyłaby również efekt ocieplenia, będący konsekwencją spadku zanieczyszczenia aerozolami oraz poprawiłaby jakość powietrza. {3.3, 4.6, 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, Ramka 5.2, Ramka międzyrozdziałowa 5.1, 6.7, 7.6, 9.6} (**Rysunek SPM.10, Tabela SPM.2**)

D.1.1 Niniejszy Raport potwierdza z *wysokim poziomem pewności* ustalenie AR5, że istnieje niemal liniowa zależność pomiędzy skumulowanymi, antropogenicznymi emisjami CO₂, a powodowanym przez nie globalnym ociepleniem. Każde 1000 GtCO₂ łącznych emisji CO₂ *prawdopodobnie* spowoduje wzrost temperatury powierzchni Ziemi o 0,27-0,63°C, przy najlepszym oszacowaniu wynoszącym 0,45°C⁴¹. Jest to zakres węższy niż w AR5 i SR1.5. Wielkość tę nazywa się przejściową odpowiedzią klimatu na skumulowane emisje CO₂ (TCRE). Z opisanej wyżej zależności wynika, że warunkiem koniecznym dla ustabilizowania antropogenicznego wzrostu globalnej temperatury na jakimkolwiek poziomie jest osiągnięcie zerowych antropogenicznych emisji CO₂ netto⁴², natomiast ograniczenie wzrostu temperatury globalnej do określonego poziomu/wartości wymaga ograniczenia skumulowanych emisji CO₂ do wielkości budżetu węglowego [dla tego poziomu ocieplenia]⁴³. {5.4, 5.5, TS.1.3, TS.3.3, Ramka TS.5} (**Rysunek SPM.10**)

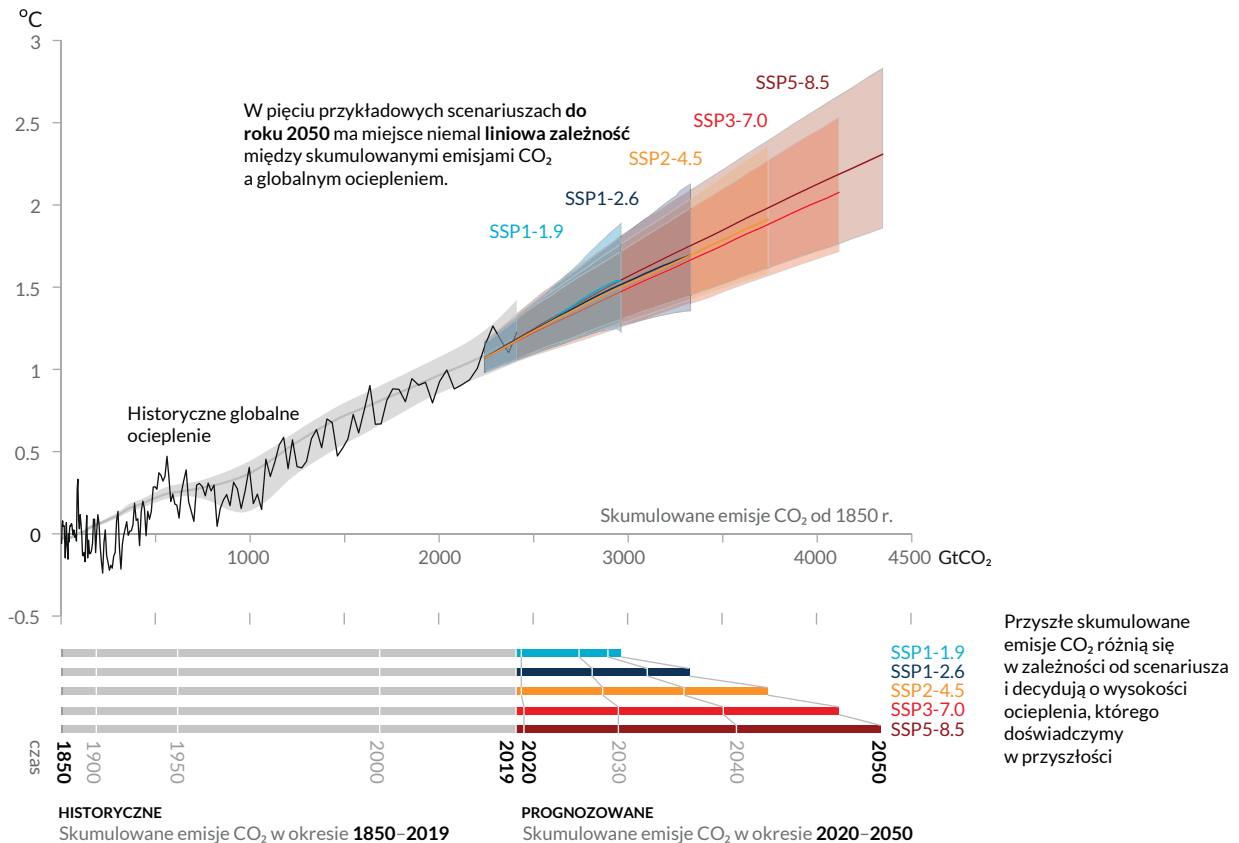
⁴¹ W literaturze używa się jednostki °C na 1000 PgC; w AR6 podaje się, że *prawdopodobny* zakres TCRE to 1,0-2,3°C na 1000 PgC, z najlepszym oszacowaniem 1,65°C.

⁴² stan, w którym antropogeniczne emisje dwutlenku węgla (CO₂) są na bieżąco równoważone przez antropogeniczne pochłanianie CO₂.

⁴³ Termin „budżet węglowy” to maksymalna ilość łącznych, globalnych, antropogenicznych emisji CO₂ netto, której wyemitowanie pozwoliłoby ograniczyć globalne ocieplenie do określonego poziomu z określonym prawdopodobieństwem, biorąc pod uwagę również wpływ innych antropogenicznych wymuszeń klimatycznych. Podając wartość budżetu od początku okresu przedprzemysłowego, mówimy o „całkowitym budżecie węglowym”, a od określonej daty z bliskiej przeszłości – „pozostałym budżecie węglowym” (zob. słowniczek). Historyczne skumulowane emisje CO₂ determinują w dużym stopniu dotychczasowe ocieplenie, a skutkiem przyszłych emisji jest dodatkowe przyszłe ocieplenie. Pozostały budżet węglowy wskazuje, ile CO₂ można jeszcze wyemitować, by utrzymać ocieplenie poniżej określonej temperatury.

Każda tona emisji CO₂ powiększa globalne ocieplenie

Wzrost globalnej temperatury powierzchni od okresu 1850–1900 r. (°C) w zależności od skumulowanych emisji CO₂ (GtCO₂)



Rysunek SPM.10: Niemal liniowa zależność pomiędzy skumulowanymi emisjami CO₂ a wzrostem globalnej temperatury powierzchni.

Panel górny: Dane historyczne (cienka, czarna linia) pokazują obserwowany od okresu 1850–1900 wzrost globalnej temperatury powierzchni w °C w funkcji historycznych skumulowanych od 1850 do 2019 roku emisji dwutlenku węgla (CO₂) wyrażonych w GtCO₂. Szary obszar z przecinającą go szarą linią pokazują oszacowane przeszłe ocieplenie wynikające z działalności człowieka (patrz Rysunek SPM.2). Kolorowe obszary pokazują oszacowany *bardzo prawdopodobny* zakres prognoz temperatury powierzchni Ziemi, a grube, kolorowe linie wewnątrz tych obszarów pokazują medianę szacunków w funkcji skumulowanych emisji CO₂ w okresie 2020–2050 dla kilku przykładowych scenariuszy (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 i SSP5-8.5, patrz Rysunek SPM.4). W prognozach użyto skumulowanych emisji CO₂ z odpowiednich scenariuszy, a prognozowane globalne ocieplenie uwzględnia udział wszystkich wymuszeń antropogenicznych. Zależność tę zilustrowano dla zakresu skumulowanych emisji CO₂, dla którego mamy *wysoki poziom pewności*, że przejściowa odpowiedź klimatu (TCRE) pozostaje stała, oraz dla okresu od 1850 do 2050 roku, w którym globalne emisje CO₂ we wszystkich scenariuszach ilustracyjnych pozostają dodatnie netto, gdyż w przypadku ujemnych emisji CO₂ dowody przemawiające za możliwością ilościowego zastosowania TCRE do oszacowania ewolucji temperatury są *ograniczone*.

Panel dolny: Historyczne i prognozowane skumulowane emisje CO₂ w GtCO₂ dla poszczególnych scenariuszy.

{Rysunek TS.18, Rysunek 5.31, Sekcja 5.5}.

D.1.2 W okresie 1850–2019 ludzkość wyemitowała łącznie 2390 ± 240 (zakres *prawdopodobny*) GtCO₂. Pozostałe budżety węglowe oszacowano dla kilku progów wzrostu globalnej temperatury i stopni prawdopodobieństwa ich nieprzekroczenia. Wykorzystano przy tym oszacowaną wartość TCRE i jej niepewność, szacunki historycznego ocieplenia, warianty prognozowanego ocieplenia wynikającego z emisji innych niż CO₂, wpływ sprzężeń zwrotnych systemu klimatycznego, takich jak emisje z rozmarzającej wieloletniej zmarzliny oraz zmiany temperatury powierzchni Ziemi po tym, jak antropogeniczne emisje CO₂ osiągną zero netto.

{5.1, 5.5, Ramka 5.2, TS.3.3} (Tabela SPM.2)

Tabela SPM.2: Oszacowania historycznych emisji CO₂ i pozostałych budżetów węglowych. Oszacowania pozostałych budżetów węglowych oblicza się od początku roku 2020 do osiągnięcia globalnego zerowego poziomu emisji CO₂ netto. Odnoszą się one do emisji CO₂, ale uwzględniają również wpływ emisji innych niż CO₂. Globalne ocieplenie w tej tabeli oznacza wzrost temperatury powierzchni Ziemi wskutek działalności człowieka, wyłączony jest wpływ naturalnej zmienności klimatu na temperatury globalne w poszczególnych latach.
{Tabela TS.3, Tabela 3.1, Tabela 5.1, Tabela 5.7, Tabela 5.8, 5.5.1, 5.5.2, Ramka 5.2}

Globalne ocieplenie między okresami 1850–1900 i 2010–2019 (°C)	Historyczne skumulowane emisje CO ₂ od 1850 do 2019 r. (GtCO ₂)
1,07 (0,8–1,3; zakres <i>prawdopodobny</i>)	2390 (± 240; zakres <i>prawdopodobny</i>)

Przybliżone globalne ocieplenie od okresu 1850–1900 do osiągnięcia danego progu wzrostu temperatury (°C)* ⁽¹⁾	Dodatkowe globalne ocieplenie od okresu 2010–2019 do osiągnięcia danego progu wzrostu temperatury (°C)	Oszacowania pozostałych budżetów węglowych od początku 2020 r. (GtCO ₂)					Warianty redukcji emisji substancji innych niż CO ₂ * ⁽³⁾
		Prawdopodobieństwo ograniczenia globalnego ocieplenia do danego progu wzrostu temperatury* ⁽²⁾					
		17%	33%	50%	67%	83%	
1,5	0,43	900	650	500	400	300	Wyższe lub niższe redukcje współlistniejących emisji innych niż CO ₂ mogą zwiększyć lub zmniejszyć wartości po lewej stronie o 220 GtCO ₂ lub więcej.
1,7	0,63	1450	1050	850	700	550	
2,0	0,93	2300	1700	1350	1150	900	

*⁽¹⁾ Wartości dla ocieplenia o każde 0,1°C są dostępne w tabelach TS.3 i 5.8.

*⁽²⁾ To prawdopodobieństwo związane jest z niepewnością co do przejściowej odpowiedzi klimatu na skumulowane emisje CO₂ (TCRE) oraz dodatkowych sprzężeń zwrotnych i określa możliwość tego, że globalne ocieplenie nie przekroczy poziomów temperatury podanych w dwóch lewych kolumnach. Do niepewności związanych z historycznym ociepleniem (±550 GtCO₂) oraz wymuszeniami i odpowiedzią systemu klimatycznego na czynniki inne niż emisje CO₂ (±220 GtCO₂), odniesiono się częściowo w ocenie niepewności w TCRE, ale niepewności dotyczące emisji po 2015 r. (±20 GtCO₂) i odpowiedzi klimatu po osiągnięciu zerowych emisji CO₂ netto (±420 GtCO₂) zostały wydzielone.

*⁽³⁾ Oszacowania pozostałego budżetu węglowego uwzględniają ocieplenie spowodowane czynnikami innymi niż CO₂, zgodnie ze scenariuszami rozpatrywanymi w SR1.5. Ograniczanie emisji innych niż CO₂ zostanie ocenione we wkładzie grupy roboczej III do AR6.

D.1.3 Ponownie przeanalizowano kilka czynników, które określają wartość pozostałego budżetu węglowego, jednak aktualizacje w stosunku do SR1.5 są niewielkie. Po uwzględnieniu emisji od momentu publikacji poprzednich raportów, szacunki wielkości pozostałych budżetów węglowych są podobne jak w SR1.5, ale większe niż w AR5 ze względu na ulepszenie metodyki⁴⁴. {5.5, Ramka 5.2, TS.3.3}. **(Tabela SPM.2)**

D.1.4 Antropogeniczne usuwanie CO₂ (CDR) ma potencjał, by pobrać CO₂ z atmosfery i składować go trwale w rezerwarach (*wysoki poziom pewności*). Celem CDR jest kompensacja emisji resztkowych dla osiągnięcia zerowej emisji CO₂ netto lub zerowej emisji wszystkich gazów cieplarnianych netto, albo – jeżeli usuwanie CO₂ zostanie wdrożone na skalę, przy której przewyższy emisje antropogeniczne – obniżenie temperatury powierzchni Ziemi. Metody CDR mogą potencjalnie oddziaływać w szerokim zakresie na cykle biogeochemiczne i klimat, co może osłabić lub wzmocnić zdolności tych procesów do usuwania CO₂ i ograniczania ocieplenia, a także może wpłynąć na dostępność i jakość wody, produkcję żywności oraz różnorodność biologiczną⁴⁵ (*wysoki poziom pewności*). {5.6, Ramka międzyrozdziałowa 5.1, TS.3.3}

D.1.5 Antropogeniczne usuwanie CO₂ (CDR) prowadzące do globalnych ujemnych emisji netto obniżyłoby atmosferyczną koncentrację CO₂ i odwróciło proces zakwaszania powierzchniowych wód oceanów (*wysoki poziom pewności*). Antropogeniczne usuwanie i emisje CO₂ są częściowo kompensowane odpowiednio przez uwalnianie i pochłanianie CO₂ przez rezerwuary węgla na lądach i w oceanach (*bardzo wysoki poziom pewności*). CDR spowodowałby obniżenie atmosferycznej koncentracji CO₂ o wartość zbliżoną do wzrostu będącego rezultatem emisji podobnej ilości CO₂ (*wysoki poziom pewności*). W zależności od całkowitej wielkości antropogenicznego usuwania za pomocą technik CDR spadek atmosferycznej koncentracji CO₂ może być nawet o 10% mniejszy od wzrostu ilości CO₂ w atmosferze w wyniku emisji tej samej ilości CO₂ (*średni poziom pewności*). {5.3, 5.6, TS.3.3}

D.1.6 Gdyby globalne ujemne emisje CO₂ netto zostały osiągnięte i utrzymane, wzrost temperatury powierzchni Ziemi spowodowany przez CO₂ zostałyby stopniowo odwrócone, ale inne następstwa zmiany klimatu postępowałyby w obecnym kierunku jeszcze przez czas od dekad do tysiącleci (*wysoki poziom pewności*). Na przykład, odwrócenie kierunku zmian globalnego średniego poziomu morza zajęłoby od kilku stuleci do tysiącleci, nawet w przypadku dużych ujemnych emisji CO₂ netto (*wysoki poziom pewności*). {4.6, 9.6, TS.3.3}

D.1.7 Jednoczesne zmiany w emisjach CH₄, aerozoli i prekursorów ozonu, które przyczyniają się również do zanieczyszczenia powietrza, prowadzą w pięciu przykładowych scenariuszach do ocieplenia powierzchni Ziemi netto w bliskiej i dalekiej przyszłości (*wysoki poziom pewności*). W dalekiej przyszłości ocieplenie netto jest mniejsze w przypadku scenariuszy zakładających ograniczanie zanieczyszczenia powietrza w połączeniu ze znaczną i trwałą redukcją emisji CH₄ (*wysoki poziom pewności*). W scenariuszach zakładających niskie i bardzo niskie emisje gazów cieplarnianych, przyjęte redukcje emisji aerozoli antropogenicznych prowadzą do ocieplenia netto, podczas gdy ograniczenia emisji CH₄ i innych prekursorów ozonu prowadzą do ochłodzenia netto. Z powodu krótkiego czasu trwania w atmosferze zarówno CH₄, jak i aerozoli, efekty te częściowo się znoszą, a zmniejszenie emisji CH₄ przyczynia się również do poprawy jakości powietrza ze względu na spadek globalnego stężenia ozonu przy powierzchni (*wysoki poziom pewności*). {6.7, Ramka TS.7} **(Rysunek SPM.2, Ramka SPM.1)**

⁴⁴ Uwzględniając emisje od czasu publikacji AR5, szacunki pozostałego budżetu węglowego zgodnego z celem ograniczenia ocieplenia do 1,5°C są w AR6 o około 300–350 GtCO₂ większe niż w AR5; dla 2°C różnica wynosi około 400–500 GtCO₂.

⁴⁵ Potencjalne negatywne i pozytywne skutki CDR dla bioróżnorodności, dostępności wody i produkcji żywności zależą od metod i często w dużej mierze od lokalnych warunków zarządzania, wcześniejszego użytkowania gruntów i skali wdrożenia. Grupy robocze II i III IPCC w swoich wkładach do AR6 oceniają potencjał CDR oraz środowiskowe i społeczno-gospodarcze skutki zastosowania metod CDR.

D.1.8 Osiągnięcie globalnych zerowych emisji CO₂ netto, czyli zrównoważenie antropogenicznych emisji przez antropogeniczne pochłanianie, jest wymogiem zatrzymania wzrostu globalnej temperatury powierzchni powodowanego przez CO₂. To co innego, niż osiągnięcie zerowych emisji dla wszystkich gazów cieplarnianych netto, gdzie ważona miarami potencjału ocieplenia dla każdego z gazów antropogeniczna emisja jest równa analogicznie ważonemu antropogenicznemu pochłanianiu. Dla danej ścieżki emisji wszystkich gazów cieplarnianych, ścieżki emisji poszczególnych gazów cieplarnianych determinują odpowiedź klimatu⁴⁶, podczas gdy wybór jednostek⁴⁷ stosowanych do obliczania sumarycznych emisji i pochłaniania poszczególnych gazów cieplarnianych wpływa na moment, gdy emisje wszystkich gazów cieplarnianych osiągną zero netto. Prognozuje się, że ścieżki emisji, które osiągają i utrzymują zerowy poziom emisji wszystkich gazów cieplarnianych netto określony przez 100-letni potencjał cieplarniany (GWP-100), doprowadzą do spadku temperatury powierzchni Ziemi po wcześniejszym osiągnięciu wartości szczytowych (*wysoki poziom pewności*).
{4.6, 7.6, Ramka 7.3, TS.3.3}.

D.2 **Scenariusze z bardzo niskimi lub niskimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP1-1.9 i SSP1-2.6) prowadzą w czasie kilku lat do widocznych różnic w stężeniach tych gazów i aerozoli, a także jakości powietrza w porównaniu do scenariuszy z wysokimi i bardzo wysokimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP3-7.0 lub SSP5-8.5). Różnice w trendach globalnej temperatury powierzchni dla skrajnych scenariuszy zaczną wylaniać się z tła naturalnej zmienności klimatu w przeciągu około 20 lat, a dla wielu innych czynników zagrożeń klimatycznych - po dłuższych okresach czasu (*wysoki poziom pewności*).**
{4.6, Ramka międzyrozdziałowa 6.1, 6.6, 6.7, 9.6, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, 11.2, 11.4, 11.5, 11.6, 12.4, 12.5} (**Rysunek SPM.8, Rysunek SPM.10**)

D.2.1 Redukcja emisji w roku 2020 związana z działaniami mającymi na celu ograniczenie rozprzestrzeniania się COVID-19 miała tymczasowy, ale dostrzegalny wpływ na zanieczyszczenie powietrza (*wysoki poziom pewności*) i związany z tym niewielki, tymczasowy wzrost całkowitego wymuszenia radiacyjnego, głównie z powodu spadku chłodzenia wywołanego aerozolami powstającymi w wyniku działalności człowieka (*średni poziom pewności*). Odpowiedź globalna i regionalna klimatu na to tymczasowe wymuszenie nie jest jednak wykrywalna na tle naturalnej zmienności (*wysoki poziom pewności*). Stężenie CO₂ w atmosferze nadal rosło w 2020 r., bez dostrzegalnego spadku tempa obserwowanego wzrostu CO₂ (*średni poziom pewności*)⁴⁸.
{Ramka 6.1, TS.3.3}.

D.2.2 Spadek emisji gazów cieplarnianych prowadzi również do poprawy jakości powietrza. Jednak w bliskiej przyszłości⁴⁹, nawet w scenariuszach zakładających znaczną redukcję emisji gazów cieplarnianych, taką jak w przypadku scenariuszy z niską i bardzo niską emisją gazów cieplarnianych (SSP1-2.6 i SSP1-1.9), ta poprawa w wielu zanieczyszczonych regionach nie jest wystarczająca do osiągnięcia wytycznych jakości powietrza określonych przez Światową Organizację Zdrowia (*wysoki poziom pewności*). Scenariusze, których celem jest redukcja emisji zanieczyszczeń powietrza prowadzą do szybszej poprawy jakości powietrza w ciągu kilku lat w porównaniu do ograniczania jedynie emisji gazów cieplarnianych. Jednak od 2040 r. w scenariuszach łączących wysiłki mające na celu redukcję zanieczyszczeń powietrza i emisji gazów cieplarnianych prognozowana jest dalsza poprawa, przy czym skala korzyści różni się w zależności od regionu (*wysoki poziom pewności*).
{6.6, 6.7, Ramka TS.7}.

⁴⁶ Ogólny termin określający sposób, w jaki system klimatyczny odpowiada na wymuszenie radiacyjne (zob. Słowniczek).

⁴⁷ Wybór jednostek wielkości emisji zależy od celów, dla których porównywane są gazy albo czynniki wymuszające. Niniejszy raport zawiera zaktualizowane wartości jednostek wielkości emisji i ocenia nowe sposoby łącznego traktowania wszystkich gazów.

⁴⁸ Dla gazów cieplarnianych innych niż CO₂ w czasie pisania raportu było zbyt mało dostępnej literatury, aby ocenić zauważalne zmiany tempa wzrostu ich koncentracji w atmosferze w ciągu 2020 r.

⁴⁹ Bliska przyszłość: (2021–2040)

D.2.3 W porównaniu do scenariuszy o wysokich lub bardzo wysokich emisjach gazów cieplarnianych (SSP3-7.0 lub SSP5-8.5), scenariusze z bardzo niskimi lub niskimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP1-1.9 i SSP1-2.6) wywołałyby szybki i trwały efekt ograniczenia antropogenicznej zmiany klimatu, ale wczesna odpowiedź systemu klimatycznego może być przesłonięta zmiennością naturalną. W przypadku globalnej temperatury powierzchni różnice w trendach 20-letnich pomiędzy scenariuszami bardzo niskich emisji gazów cieplarnianych (SSP1-1.9), a scenariuszami wysokich lub bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (SSP3-7.0 lub SSP5-8.5) byłyby *prawdopodobnie* widoczne w bliskiej przyszłości. Odpowiedź wielu innych czynników klimatycznych ujawni się na tle naturalnej zmienności później w XXI w., w różnych okresach (*wysoki poziom pewności*).
{4.6, Ramka międzysekcyjna TS.1} (**Rysunek SPM.8, Rysunek SPM.10**)

D.2.4 Scenariusze z bardzo niskimi i niskimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP1-1.9 i SSP1-2.6) doprowadzą po 2040 r. do znacznie mniejszych zmian w nasileniu wielu CID³⁶, niż scenariusze z wysokimi i bardzo wysokimi emisjami gazów cieplarnianych (SSP3-7.0 i SSP5-8.5). Przed końcem stulecia scenariusze z bardzo niskimi i niskimi emisjami gazów cieplarnianych mocno ograniczą, w porównaniu ze scenariuszami zakładającymi wyższe emisje gazów cieplarnianych, zmiany niektórych CID, takich jak wzrost częstotliwości ekstremalnych zdarzeń związanych z poziomem morza, intensywne opadów i powodzi opadowych oraz przekraczanie progów niebezpiecznych upałów, jednocześnie ograniczając liczbę regionów, w których takie przekroczenia będą występować (*wysoki poziom pewności*). Zmiany byłyby również mniejsze w scenariuszach bardzo niskich emisji względem niskich emisji, jak również w scenariuszach pośrednich emisji (SSP2-4.5) względem wysokich lub bardzo wysokich emisji (*wysoki poziom pewności*).
{9.6, Ramka międzyrozdziałowa 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, TS.4.3}